

République Algérienne Démocratique et Populaire Ministère
de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Mémoire de Master

Présenté par :

- **Barache Ryma**
- **Bouriah Asma**

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Chimie

Spécialité : Chimie Analytique

Thème :

***Elimination d'un colorant (bleu de méthylène)
Sur la sciure de bois par Adsorption***

Soutenu le : 02/10/2021

Devant le jury composé de :

Nom & Prénom	Département d'affiliation	Qualité
Mme BARKA Fatiha	Chimie	Présidente
Mme AIT BRAHAM Laila	Chimie	Examinatrice
Mr BEZZI Nacer	Chimie	Encadrant
Mlle BOUAOUINA Kenza	Chimie	Co-encadrante

Remerciement

Tout d'abord nous tenons à remercier Dieu de nous avoir donné la force, la volonté et la santé pour réaliser ce mémoire.

Ce travail a été effectué sous l'encadrement de monsieur N. BEZZI .On le remercie vivement pour son encadrement brillant, pour ses conseils précieux et sa disponibilité tout le long de ce travail. C'est grâce à lui que le travail a pris le bon chemin. Nous le remercions chaleureusement.

Nous remercions aussi notre Co-encadrante mademoiselle BOUAOUINA .K pour son aide et ses conseils .Nous voudrions également vous témoigner notre profonde gratitude pour votre enseignement et accompagnons passée et récent qui font de nous une fierté d'être vos étudiantes.

Nous remercions la présidente de jury de soutenance madame BARKA FATIHA, ainsi l'examinatrice madame AIT BRAHEM LAILA d'avoir consacré une partie de leurs temps au lecteur de ce mémoire et accepté de faire partie de son jury.

Nous remercions d'une façon particulière nos familles pour leur soutien et leur encouragement ainsi que nos amis.

Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de prêt et de loin à la réalisation de ce travail.

Merci à tous.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

*A mes parents pour tous leurs sacrifices, leur amour,
leur soutien et leurs prières tout au long de mes études*

*A mon cher mari Fares et ma belle famille
Et bien sûr à mes frères Amine et Mounir
A ma chère copine Sonia et sa famille
A ma binôme Asma et sa famille*

*A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce
projet soit possible, je vous dis merci*

Ryma

Dédicaces

Je dédie ce travail :

A mes très chers parents qui m'ont toujours soutenue et a l'intérêt qu'ils ont toujours porté pour mes études. Que dieu me les protège.

A mes frères: Fouad et Rayane

A ma sœur : Lydia et son mari

A mes cousine : Aya, Malek, Hiba

A mes tentes : Nassima et Naima

Amon cher Amine et ma belle famille

A ma copines : Sonia et sa famille

A ma binôme Ryma et sa famille

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis merci

Asma

Liste des figures

Figure I.1 : Structure moléculaire d'un colorant azoïque.....	18
Figure I.2 : Structure moléculaire d'anthraquinonique.....	19
Figure I.3 : Structure moléculaire d'un colorant indigoïde.....	19
Figure I.4 : Structure moléculaire d'un colorant xanthène.....	20
Figure I.5 : Structure moléculaire d'un colorant phtalocyanine.....	20
Figure I.6 : Structure moléculaire d'un colorant nitré et nitrosé.....	21
Figure I.7 : Structure moléculaire d'un colorant triphénylméthane.....	22
Figure I.8 : Structure moléculaire d'un colorant acide ou anionique.....	23
Figure I.9 : Structure moléculaire d'un colorant basique ou cationique.....	23
Figure I.10 : Structure chimique du bleu de méthylène.....	28
Figure II.1 : Phénomène d'adsorption.....	31
Figure II.2 : Schéma du mécanisme de transport d'un adsorbat au sein d'un matériau microporeux.....	33
Figure II.3 : Différents types d'isothermes d'adsorption des gaz selon l'IUPAC.....	35
Figure III.1 : Lavage de sciure de bois.....	49
Figure III.2 : Séchage de SB à l'air libre.....	49
Figure III.3 : Sciure de bois après broyage et tamisage à l'état brute.....	49
Figure III.4 : Spectre infra-rouge de la sciure de bois brut.....	53
Figure III.5 : Solution mère de bleu de méthylène.....	54
Figure III.6 : Les différentes dilutions préparer de la solution de BM.....	55

Figure III.7 : La courbe de détermination de λ_{\max} de BM.....	56
Figure III.8 : La courbe d'étalonnage de bleu de méthylène.....	57
Figure III.9 : Effet du temps de contact et la concentration initiale sur l'adsorption BM/SB..	58
Figure III.10 : Influence de la masse sur l'adsorption du BM sur l'adsorbant et le rendement d'élimination.....	59
Figure III.11 : Effet de la température sur l'adsorption BM/SB.....	60
Figure III.12 : Effet de pH sur l'adsorption du bleu de méthylène pas la SB.....	61
Figure III.13 : Représentation de modèle cinétique pseudo premier-ordre de l'adsorption de BM sur SB.....	62
Figure III.14 : Représentation de modèle cinétique pseudo second-ordre de l'adsorption de BM sur.....	63
Figure III.15 : Représentation graphique selon le modèle de diffusion interne pour les différentes concentrations en RA.....	65
Figure III.16 : Isothermes d'adsorption du BM/SB (brut et traité).....	66
Figure III.17 : Modélisation des résultats expérimentaux par le modèle de Langmuir.....	67
Figure III.18 : Modélisation des résultats expérimentaux par le modèle de Freundlich.....	67
Figure III.19 : Variation de $\ln K_d$ en fonction de $1/T$ (SBB et SBT).....	70

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Principaux polluants de l'air ambiant.....	04
Tableau I.2 : Origines et natures de différentes sources de pollution du milieu aquatique....	09
Tableau I.3 : Principaux groupements chromophores et auxochromes, classées par intensité croissante.....	17
Tableau I.4 : Les différentes méthodes de traitement.....	26
Tableau I.5 : Principales caractéristiques physico-chimiques du BM.....	29
Tableau II.1 : Principales différences entre les deux types d'adsorption.....	33
Tableau III.1 : Les caractéristiques de sciure de bois.....	50
Tableau III.2 : Caractéristiques physico-chimique de la sciure de bois.....	52
Tableau III.3 : Constante de vitesse k_2 et la quantité adsorbée à l'équilibre (q_c) de BM sur SBB.....	64
Tableau III.4 : Constante de vitesse k_2 et la quantité adsorbée à l'équilibre (q_c) de BM sur SBT.....	64
Tableau III.5 : Valeurs des constantes des isothermes Langmuir et Freundlich.....	68
Tableau III.6 : Paramètres thermodynamiques calculés dans l'intervalle des températures étudiées. Pour les SBB et SBT.....	70

Liste des abréviations

Symboles grecs

ΔH° : Variation de l'enthalpie standard ($\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}$).

ΔG° : Variation de l'enthalpie libre standard ($\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}$).

ΔS° : Variation de l'entropie standard ($\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$).

ε : Coefficient d'absorption ($\text{L}/\text{mol}\cdot\text{cm}$)

θ : Angle d'incidence des rayons X.

λ_{max} : Longueur d'onde maximale (nm).

Sigles

COV : Composés organiques volatiles..

BM : Bleu de méthylène.

SB : Sciure de bois

SBB : Sciure de bois brut

SBT : Sciure de bois traité

BET : Brunauer, Emmet et Teller.

IUPAC: International Union of Pure and Applied Chemistry.

pH : Potentiel Hydrogène.

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Sommaire

Introduction.....1

Synthèse bibliographique

Chapitre I : Généralité sur la pollution

I.1. Les types de pollution	3
I.1.1. La pollution de l'air.....	3
I.1.2. La pollution de l'eau	5
I.1.3. La pollution des sols.....	5
I.1.4. La pollution radioactive.....	6
I.1.5. La Pollution thermique.....	6
I.1.6. La Pollution visuelle.....	6
I.1.7. La Pollution lumineuse.....	6
I.1.8. La Pollution acoustique.....	6
I.1.9. La pollution alimentaire.....	6
I.2. Les causes de pollution.....	7
I.2.1. La source de pollution de l'air.....	7
I.2.2. La source de pollution de l'eau.....	8
I.2.3. La source de la pollution des sols.....	10
I.3. Les types de polluants.....	11
I.4. L'effet de pollution.....	14
I.5. Généralités sur les colorants.....	16
I-6. Historique.....	16
I-7. Définition et structure d'un colorant.....	16
I.8. Classification des colorants.....	17
I.8.1. Les colorants naturels.....	17
I.8.2. Les colorants synthétiques.....	17
I.8.2.1. Classification chimique.....	18
I.8.2.1.1. Les colorants azoïques.....	18
I.8.2.1.2. Les colorants anthraquinoniques.....	18

I.8.2.1.3. Les colorants indigoïdes.....	19
I.8.2.1.4. Les colorants xanthènes.....	19
I.8.2.1.5. Les colorants phtalocyanines.....	20
I.8.2.1.6. Les colorants nitrés et nitrosés.....	21
I.8.2.1.7. Les colorants triphénylméthanés.....	21
I.8.2.2. Classification tinctoriale.....	22
I.8.2.2.1. Les colorants acides ou anioniques.....	22
I.8.2.2.2. Les colorants basiques ou cationiques.....	23
I.8.2.2.3. Les colorants réactifs.....	23
I.8.2.2.4. Les colorants métallifères.....	24
I.8.2.2.5. Les colorants directs.....	24
I.9. Domaine d'application des colorants.....	24
I.10. La toxicité des colorants.....	25
I.11. Les différentes méthodes traitements des colorants.....	25
I.12. Généralités sur le bleu de méthylène.....	28
I.12.1. Domaine d'utilisation du bleu de méthylène.....	29
I.12.2. Toxicité du bleu de méthylène.....	29

Chapitre I : Généralités sur le phénomène d'adsorption

II.1. Principe de l'adsorption.....	31
II.2. Types d'adsorption.....	32
II.2.1. Adsorption physique (physisorption).....	32
II.2.2. Adsorption chimique (chimisorption).....	32
II.3. Description du mécanisme d'adsorption.....	33
II.4. Classification des isotherme de'adsorption.....	34
II.5. Modélisation des isothermes d'adsorption.....	35
II.5.1. Modèles mono-soluté à deux paramètres.....	36
II.5.2. Modèles mono-soluté à trois paramètres.....	39
II.6. Facteurs influençant le processus d'adsorption.....	41
II.6.1. Structure des adsorbants.....	41
II.6.2. Influence de l'adsorbat.....	41
II.6.3. Influence du pH.....	41

II.6.4. Influence de la température.....	41
II.6.5. Surface spécifique.....	42
II.6.6. Autres paramètres.....	42
II.7. Cinétiques d'adsorption.....	42
II.7.1. Modèles cinétique de la réaction de surface.	42
II.7.1.a. Modèle cinétique du pseudo premier ordre.....	42
II.7.1.b. Modèle cinétique du pseudo-second ordre.....	43
II.7.1. Modèle d'Elovich.....	43
II.7.2. Modèles basé sur la diffusion moléculaire.....	44
II.7.2.a. Modèle de diffusion intra-particulaire.....	44
II.7.2.b. Modèle de diffusion dans le film liquide.....	44
II.8. Capacité d'adsorption.....	45
II.9. Chaleur d'adsorption.....	45

Chapitre III : Essais d'adsorption du bleu de méthylène sur la sciure de

bois

III.1. La préparation des échantillons.....	48
III.1.1. Préparation de la sciure de bois (adsorbant).....	48
III.1.2. Traitement chimique de l'adsorbant.....	49
III.1.3. Les principales caractéristiques de la sciure de bois.....	50
III.2. Caractérisation de la sciure de bois.....	50
III.2.1 Analyses physico-chimiques de SB.....	50
III.2.2. Analyses spectrales infra-rouge.....	52
III.3. Caractérisation de bleu de méthylène.....	54
III.3.1. Préparation de solution mère de bleu de méthylène.....	54
III.3.2. Préparation des solutions diluées.....	54
III.3.3. Analyses par spectrophotométrie UV-visible.....	55
III.3.4. Détermination de la longueur d'onde.....	56
III.3.5. Etalonnage du colorant.....	56
III.4. Tests d'adsorption du bleu de méthylène sur la sciure du bois.....	57
III.4.1. Les paramètres influençant sur le procédé d'adsorption.....	57
III.5. Modélisation de l'adsorption du BM par la SB.....	61
III.5.1 La Cinétique de premier ordre.....	62
III.5.2 La Cinétique de deuxième ordre.....	63

III.5.3. Le Modèle de diffusion interne ou intra-particulaire.....	64
III.6. Etude des isothermes d'adsorption.....	65
III.6.1.Modélisation des isothermes d'adsorption.....	66
III.6.1.1. Le Modèle de Langmuir.....	66
III.6.1.2. Le Modèle de Freundlich.....	67
III.VII. Etude thermodynamique.....	68
Conclusion	69

Introduction générale

La pollution des eaux issues des rejets industriels est un sérieux problème dans plusieurs pays. Les rejets des effluents colorés dans la nature n'est pas seulement désagréable pour l'environnement mais affecte beaucoup de cycles biologiques [1]. Ces rejets présentent un véritable danger pour l'homme et son environnement en raison de leur stabilité et de leur faible biodégradabilité [2]. Plusieurs traitements ont été utilisés pour diminuer l'effet néfaste des effluents rejetés. Les procédés traditionnels tels que les procédés biologiques donnent des résultats non satisfaisants, du fait de la composition de ces rejets en matières toxiques et colorants qui sont difficilement biodégradables [3].

Aujourd'hui, il existe plus de 10 000 colorants ayant des structures chimiques diverses, classés comme anioniques, cationiques et non ioniques en fonction de la charge ionique sur les molécules de colorant. Les colorants cationiques sont plus toxiques que les colorants anioniques [3]. Le bleu de méthylène qui est utilisé dans ce travail est un colorant cationique largement utilisé dans la teinture du coton, du bois, de la soie et du papier, etc. [4]. C'est l'un des colorants synthétiques qui peuvent affecter négativement la photosynthèse. Il peut provoquer des brûlures oculaires responsables de blessures permanentes aux yeux de l'homme et des animaux. Son inhalation peut donner lieu à des difficultés respiratoires et son ingestion par la bouche produit une sensation de brûlure, provoque des nausées, des vomissements, transpiration et sueurs froides abondantes [4].

Le traitement des rejets industriels contenant ce type de colorant s'avère d'un grand intérêt. Une large variété de techniques physiques, chimiques et biologiques a été développée et testée dans le traitement des effluents chargés en colorants. Ces procédés incluent la floculation, la précipitation, l'échange d'ions, la filtration sur membrane, l'irradiation et l'ozonation. Cependant, ces procédés sont coûteux et conduisent à la génération de grandes quantités de boues ou à la formation de dérivés [5]. Parmi les procédés de traitement des rejets liquides, l'adsorption reste une technique relativement utilisée et facile à mettre en œuvre. Le charbon actif est l'adsorbant le plus largement utilisé en raison de sa grande capacité d'adsorption des matériaux organiques [5]. Toutefois, cet adsorbant a un coût élevé et reste difficile à régénérer. La recherche d'un autre adsorbant efficace et moins coûteux s'avère donc intéressante. Dans cette optique, l'utilisation de l'argile en tant qu'adsorbant présente un grand intérêt en raison de son efficacité, son coût accessible et son abondance [6]. Pour cette raison, de nouveaux matériaux font l'objet de plusieurs recherches ces dernières années.

A l'heure où les pays du monde sont conscients de la nécessité de protéger l'environnement, plusieurs travaux sont mis en œuvre pour trouver des solutions économique socialement et environnementalement rentables.

Dans ce contexte, nous nous sommes proposés de tester un rejet naturel à base de sciure de bois car c'est une gestion durable l'environnement d'une part, et d'autre part parce qu'elle prétend dépolluer des eaux contaminées parce qu'elle permet de valoriser un déchet abondamment disponible dans notre pays.

Notre étude a porté sur l'élimination du Bleu de méthylène par la sciure de bois de granulométrie $<250 \mu\text{m}$ par la technique d'adsorption. L'objectif visé à travers ce travail est d'une part, la valorisation d'un déchet naturel, la sciure de bois, et d'autre part, son utilisation dans la dépollution des effluents colorés en exploitant ses propriétés adsorbantes pour l'élimination du Bleu de méthylène.

Cet adsorbant a été utilisé à l'état brut, et traité chimiquement, différents paramètres expérimentaux ont été analysés : masse d'adsorbant, pH et température. La capacité d'adsorption de la sciure de bois a été étudiée en utilisant les isothermes d'adsorption de Langmuir et de Freundlich.

Le mémoire est composé de trois chapitres, les deux premiers chapitres sont consacrés à la partie théorique et le troisième chapitre est dédié à la partie expérimentale.

La partie théorique est composée de deux chapitres :

Le chapitre I est dédié à la pollution de l'environnement, les différents types de polluants tels que les métaux lourds et les colorants.

Le chapitre II est consacré à la technique d'adsorption avec ces différents types, les isothermes d'adsorption, les facteurs influençant sur le procédé d'adsorption et aux phénomènes d'adsorption, la cinétique d'adsorption et la thermodynamique d'adsorption.

La partie expérimentale portant sur le chapitre III est dédiée à la préparation des échantillons de la sciure de bois, à la caractérisation physicochimique de la sciure de bois, et à l'étude des isothermes d'adsorption, l'optimisation des paramètres d'adsorption, l'étude cinétique et la détermination des grandeurs thermodynamiques.

Chapitre 1

Généralités sur la pollution et les colorants

Chapitre I : Généralités sur la pollution

La pollution devient de plus en plus visible et constitue une grande menace pour notre environnement. Elle est une destruction de l'environnement par des produits qui se diffusent dans plusieurs milieux (l'air, l'eau, le sol) composant notre univers. Ainsi on la retrouve aussi bien dans l'eau et dans l'air, que dans le sol. Le plus souvent, elle est due à une activité humaine. Elle peut avoir des impacts non négligeables sur notre santé ; aussi faut-il l'identifier et la limiter. Heureusement, les choses avancent et nous avons pris conscience de ses dangers. Les états et les pays commencent à s'organiser pour limiter son développement [8].

La pollution est une dégradation de l'environnement par l'introduction dans l'air, l'eau ou le sol de matières n'étant pas présentes naturellement dans le milieu. Elle entraîne une perturbation de l'écosystème dont les conséquences peuvent aller jusqu'à la migration ou l'extinction de certaines espèces incapables de s'adapter au changement. Souvent anthropique, c'est à dire due directement ou indirectement à l'activité humaine [9], de substances ou d'énergie dans l'environnement, ayant des effets nuisibles pour les organismes vivants. La pollution peut cependant résulter de phénomènes naturels tels qu'une éruption volcanique ou solaire [10].

I.1. Les types de pollution

Les activités humaines, tout comme les processus naturels, modifient les milieux où ils se déroulent. Trois d'entre eux sont touchés : l'air, l'eau et les sols, avec échange entre ces trois milieux. C'est à travers l'air (poussières ou gaz) et l'eau que les risques sont souvent les plus présents : chaque jour un individu respire en moyenne quinze kilogrammes d'air, dont il consomme près d'un kilogramme d'oxygène, alors qu'il boit quelques litres ou kilogramme d'eau, et ne mange environ qu'un kilogramme de nourriture.

De nombreux progrès ont été réalisés en matière de gestion des déchets, des effluents et des pollutions. Les grosses pollutions dont la source était bien identifiée, par exemple les rejets industriels, ont été sérieusement réglementés. Pour ces derniers, le traitement à la source, la concentration et le confinement des déchets de production sont plus aisément accessibles. Mais simultanément, des dégradations se font sentir, même si objectivement la qualité de l'air et de l'eau est la meilleure qu'il y a 40 ans [11].

I.1.1. La pollution de l'air

La pollution atmosphérique concerne la dégradation de l'air que nous respirons à cause de

substances polluantes qui se trouvent dans l'atmosphère. Des pics de pollution atmosphérique ont souvent lieu les principaux polluants atmosphériques représentés sur le tableau I.1 sont les particules fines, le dioxyde de soufre (SO₂), l'ozone, les oxydes d'azote (NO et NO₂), les composés organiques volatils (COV), etc.

La pollution atmosphérique est essentiellement liée aux transports (véhicules légers ou poids lourds) et aux installations de combustion (notamment la combustion de biomasse). Les dioxines forment une famille des 210 composés dont 17 sont toxiques. Une au moins des dioxines est cancérigène pour l'homme. Les dioxines sont produites lors de combustions dans des feux ou des incinérateurs d'ordures ménagères [12].

Tableau I.1: Principaux polluants de l'air ambiant [13].

Quelques polluants de l'air ambiant	Origine	Risques
Dioxyde de soufre (SO ₂)	-80% industrie -10% résidentiel et tertiaire, chauffage urbain	-Affection respiratoires -A l'origine des pluies acides
Particules en suspension (stabilité ou augmentation des taux d'empoussièrement)	-30 à 70% combustion de biomasse (chauffage au bois, feux de cheminée et de jardin) - 10% transport routier -agriculture, industrie	-Irritation des voies respiratoires -Risques cancérigènes avérés
Dioxyde d'azote (NO ₂) (diminution de 40% en 15 ans)	-50% transport routier 25% industrie -5% résidentiel et tertiaire, chauffage urbain	-perturbation de la fonction respiratoire - troubles respiratoires chroniques ; à forte dose peut provoquer des lésions
Monoxyde de carbone (CO) (diminution de 75 % en 15 ans)	-30% résidentiel et tertiaire, chauffage urbain	-Perturbe le transport de l'oxygène dans le sang : peut

	-30% transport routier -30% industrie	provoquer des anémies, des vertiges, des migraines et être mortel à forte dose
Ozone (O ₃) (doublement en 15 ans)	-Polluant secondaire résultant de la transformation photochimique de certains polluants (NO _x et COV) en présence de rayonnement solaire (UV)	-Irritations oculaires -Altération pulmonaire - Dommages sur les végétaux -Contribue à l'effet de serre
Composés organiques volatils (COV) (diminution de 80% du Benzène grâce aux progrès sur les carburants)	-transport routier industrie, usages de solvant	-Formation d'ozone -Gêne respiratoire -Risques mutagènes et cancérigènes (benzène)

I.1.2. La pollution de l'eau

La pollution de l'eau est la contamination par des déchets, des produits chimiques ou des micro-organismes. Elle est due essentiellement aux rejets

- Agricoles (à cause des pesticides et des engrais).
- Ménagers (médicaments et biocides rejetés via des eaux usées et que les stations d'épuration et le lagunage ne savent pas traiter).

Les phosphates polluent le cours d'eau par un phénomène appelé eutrophisation : le cours d'eau est asphyxié par la prolifération d'algues pour qui le phosphate joue le rôle d'engrais. L'eau est polluée par les marées noires mais surtout par les rejets d'hydrocarbures des bateaux. À de nombreux endroits, les eaux usées ne sont pas traitées avant d'être rejetées, car cela coûte très cher. Par conséquent, une grande quantité d'eaux usées est rejetée en mer. Cela peut provoquer, par exemple, des algues qui se reproduisent très rapidement. Elles recouvrent la surface de la mer et risquent de boucher les branchies des poissons. Le traitement des eaux usées est donc important pour l'écologie. Chaque année des milliers de poissons meurent à cause de la pollution [14].

I.1.3. La pollution des sols

La notion de pollution du sol désigne toutes les formes de pollution touchant n'importe quel type de sol (agricole, forestier, urbain...). Un sol pollué devient à son tour une source possible de

diffusion directe ou indirecte de polluants dans l'environnement, *via* l'eau, les envols de poussières, émanations gazeuses ou via une réconcentration et transfert de polluants par des organismes vivants (bactéries, champignons, plantes à leur tour mangés par des animaux) [15].

I.1.4. La pollution radioactive

C'est l'un des types de pollution les plus dangereux et les plus agressifs de la vie. Elle est produite par la libération de matières radioactives et a un effet sur toutes les surfaces. Habituellement dérivé de l'action humaine, tels que le déversement de déchets ou les catastrophes dans des centrales nucléaires telles que Tchernobyl.

I.1.5. La Pollution thermique

L'un des types de pollution est dû aux changements de température au sein de l'environnement ou dans différents milieux dû à l'activité humaine.

I.1.6. La Pollution visuelle

Bien que le concept puisse en principe ressembler à celui de pollution lumineuse, il est fait référence ici à la modification du support basée sur des stimuli visuels ils n'ont pas à faire avec la luminosité. Par exemple, il fait référence aux changements visuels qui se produisent dans la nature en raison de l'activité humaine.

I.1.7. La Pollution lumineuse

C'est l'un des types de pollution dans lequel l'élément contaminant est visuel. Pollution lumineuse l'élément polluant lui-même est l'émission de lumière en dehors de ce qui serait naturel, causant des problèmes tels que la perte d'orientation ou des modifications du biorythme autant pour les êtres humains que pour les animaux [16].

I.1.8. La Pollution acoustique

Nous appelons contamination acoustique l'émission de son dans une proportion, fréquence, tonalité, volume et rythme excessifs, qui provoque une altération de l'environnement ou des êtres qui l'habitent. Ce type de pollution est ce que vit, par exemple, les personnes dans des quartiers très touristiques où il y a de nombreux clubs et établissements de musique [17].

I.1.9. La pollution alimentaire

Il fait référence à la présence de différentes substances dans les aliments qui provoquer des effets d'ampleur différente chez ceux qui le consomment. Par exemple, la contamination du poisson par le mercure due à la pollution de l'eau ou à la vente d'aliments en mauvais état ou infectés par une maladie quelconque.

I.2. Les causes de pollution

I.2.1. La source de pollution de l'air

Au 21ème siècle, la modélisation et la prévision de la qualité de l'air représentent à la fois un défi et un problème scientifique, qui a récemment vu le jour en Algérie en raison de la prise de conscience croissante de l'effet de la pollution atmosphérique sur la santé, l'environnement, les écosystèmes et le climat. Par pollution de l'air, on entend la contamination de l'environnement intérieur ou extérieur par un agent chimique, physique ou biologique qui modifie les caractéristiques naturelles de l'atmosphère. Les appareils utilisés pour la combustion au sein des foyers, les véhicules automobiles, les établissements industriels et les feux de forêt sont des sources fréquentes de pollution atmosphérique. Les polluants les plus nocifs pour la santé publique sont notamment les matières particulaires, le monoxyde de carbone, l'ozone, le dioxyde d'azote et le dioxyde de soufre. La pollution de l'air à l'extérieur comme à l'intérieur entraîne entre autres des maladies respiratoires qui peuvent être mortelles [18].

- **La combustion**

La première cause de pollution atmosphérique directe est la combustion: (combustibles fossiles, bois, déchets, carburants etc...). Les sources d'émission sont nombreuses et diffuses. En proportion et par comparaison avec les activités industrielles de plus en plus contrôlées, la responsabilité individuelle est croissante tant dans les activités résidentielles (chauffage) que dans l'usage des moyens de transports.

- **L'émission atmosphérique d'origine naturelle**

Les incendies de forêt, feux de brousse ou encore le volcanisme peuvent être l'origine d'émission atmosphérique de polluants. On appelle émissions atmosphériques anthropiques les émissions d'origine humaine. La distinction se fait couramment d'après la nature des sources d'émissions (sources mobiles ou fixes) ou le secteur d'activités. La majorité des activités humaines est à l'origine, directe ou indirecte, d'émissions de polluants [19].

- **Le transport**

Que le mode de transport soit aérien, maritime ou terrestre, il participe aux émissions de polluants atmosphériques. Exemples de polluants émis par ce secteur : oxydes d'azote (NO_x), particules dans les gaz d'échappement, monoxyde de carbone (CO), etc... .

- **L'agriculture**

Le secteur agricole est responsable d'une partie de la pollution atmosphérique, par l'utilisation de machines notamment, mais aussi à cause du recours aux produits phytosanitaire ou aux épandages (émission d'ammoniac).

- **Les activités domestiques**

En utilisant des produits phytosanitaires, des peintures, des produits ménagers, en cuisinant, on favorise la pollution atmosphérique. Exemples de polluants émis : composés organiques volatils.

- **Le chauffage individuel et collectif**

Ce secteur est à l'origine d'une grande partie des émissions dans les régions tempérés. Les polluants concernés sont généralement le dioxyde de soufre, le monoxyde de carbone, les oxydes d'azote ou encore les particules fines. La climatisation génère indirectement des émissions du fait de grande consommation d'électricité mais également si le gaz réfrigérant n'est pas récupéré [20].

I.2.2. La source de pollution de l'eau

Au cours de son cycle, l'eau peut donc se charger en éléments indésirables (polluants chimiques, organismes ...), qui contribuent à la dégradation des réserves d'eaux à travers les continents [21]. Les micropolluants présents dans l'environnement ont des origines très variées. Leur devenir environnemental ainsi que leur impact potentiel sur les différents écosystèmes sont très dépendant de leurs interactions avec le milieu environnant. Les principaux micropolluants impliqués dans les phénomènes de pollutions chimiques sont les métaux (exemple : cuivre, zinc, plomb, cadmium...)

Le milieu aquatique, dans son ensemble, est un système très complexe qui est le siège d'un grand nombre de réactions chimiques, physiques et biologiques. Ce système est, de manière générale, en étroite relation avec l'ensemble des autres systèmes ou compartiments constituant le milieu

naturel et que l'on peut décomposer en trois grandes parties : l'atmosphère, l'eau et le sol (incluant les sédiments). A cause du cycle de l'eau, les écosystèmes aquatiques sont susceptibles d'être contaminés par des pollutions accidentelles ou chroniques [22].

La pollution de la ressource en eau se caractérise par la présence de micro-organismes, de substances chimiques ou encore de déchets industriels. Elle peut concerner les cours d'eau, les nappes d'eau, les eaux saumâtres mais également l'eau de pluie, la rosée, la neige et la glace polaire.

- **La pollution industrielle**

Avec les rejets de produits chimiques comme les hydrocarbures les Polychlorobiphényles rejetés par les industries ainsi que les eaux évacuées par les usines.

- **La pollution agricole**

Avec les déjections animales mais aussi les produits phytosanitaires/pesticides (herbicides, insecticides, fongicides) contenus dans les engrais et utilisés dans l'agriculture. Ils pénètrent alors dans les sols jusqu'à atteindre les eaux souterraines.

- **La pollution domestique**

Elle est à l'origine des eaux usées provenant des toilettes, des produits d'entretien ou cosmétiques (savons de lessives, détergents), des peintures, des solvants, des huiles de vidanges, des hydrocarbures... etc.

- **La pollution accidentelle**

Elle est liée principalement au déversement accidentel de produits toxiques dans le milieu naturel qui perturbent l'écosystème, représentés dans le tableau suivant

Tableau I.2 : Origines et natures de différentes sources de pollution du milieu aquatique [23].

Types de pollution	Nature	Origines
Physique	Rejets d'eau chaude	Centrales thermiques, nucléaires
	matières en suspension	Rejets urbains, érosion des sols

	Matières organiques	Effluents domestiques, agricoles, agroalimentaires
	Fertilisants (nitrate, phosphate)	Agriculture, lessives
chimique	Métaux (Cd, Pb, Hg, Al, As...)	Industrie, agriculture, déchets
	Pesticides (insecticides, herbicides, fongicides)	Industrie, agriculture
	Organochlorés (Polychlorobiphényles, solvants)	Industries
	Composés organiques de synthèse	Industries
	Détergents	Effluents domestiques
	Hydrocarbures	Industrie pétrolière, transports
Biologique	Bactéries, virus, champignons...	Effluents urbains, agricoles

I.2.3. La source de la pollution des sols

On dit qu'un sol est pollué lorsqu'il contient une concentration de composés chimiques potentiellement dangereux pour la santé, des plantes ou des animaux. La contamination se fait alors soit par voie digestive (consommation d'eau polluée par exemple), ou par voie respiratoire (poussières des sols pollués dans l'atmosphère) [24].

Les causes possibles de la pollution des sols

Ce sont la plupart du temps les activités humaines qui sont à l'origine des pollutions des sols :

- Les installations industrielles peuvent, dans le cas d'une fuite, d'un accident, ou encore dans l'abandon d'une usine, provoquer une pollution du site.
- L'épandage des produits phytosanitaires et les rejets des bâtiments d'élevage, des exploitations agricoles sont également à l'origine de nombreuses pollutions des sols (notamment par l'azote et les phosphates), qui vont à leur tour amener la contamination des eaux de ruissellement, et par la suite les cours d'eaux.

- Les actions des collectivités territoriales peuvent également être à l'origine d'une pollution des sols : gestion des décharges et des stations d'épuration, utilisation de produits phytosanitaires par les services des espaces verts, gestion de jardins partagés, etc.

Des évènements géographiquement éloignés peuvent également produire des pollutions de sols, qu'il s'agisse d'évènements naturels (les retombées des cendres d'un volcan suite à une forte éruption par exemple), ou technologiques (retombées radioactives suite à un essai nucléaire ou une catastrophe, comme lors de l'accident de Tchernobyl).

I.3. Les types de polluants

- **Les polluants chimiques**

Les polluants chimiques concernent toutes les substances présentant un effet potentiel sur la santé que l'on rencontre directement (suite à une activité des personnes) ou indirectement (suite à l'apport d'un objet ou d'un mobilier) dans les espaces intérieurs.

- Assouplissants de matière plastiques : lors de la fabrication des matières plastiques, on inclut dans les procédés chimiques des substances a fin de leur procurer des caractéristiques de souplesse et de résistance. Malheureusement, tant pour l'environnement que pour la santé, certaines de ces substances sont plus que préoccupantes pour la santé.
- Les fumées de combustion : toutes les combustions incomplètes (flamme orange par exemple) produisent des gaz et des particules qui participent à la pollution de l'air. On peut citer particulièrement.
- Les hydrocarbures : ils sont présentés dans cette rubrique des substances dérivées de la grande chimie du carbone (chimie que l'on appelle organique). Ce sont des substances produites à partir du pétrole.
- Les solvants : les solvants que l'on désigne aussi sous l'appellation substances chimiques volatiles ou composés organiques volatiles (COV), sont des substances qui s'évaporent spontanément à la température ambiante [25].
- Le monoxyde de carbone : ce gaz est incolore, inodore et mortel à forte concentration. Il se dégage en quantité importante quand des appareils de chauffage ou de production d'eau

chaude à combustion sont mal entretenus et ou fonctionnent dans une atmosphère confinée, mal aérée et appauvrie en oxygène.

- les composés organiques volatils : ils ont la capacité de s'évaporer à température ambiante. Il en existe des centaines, parmi les plus préoccupants (formaldéhyde, solvants organiques, éthers de glycol, hydrocarbures dont benzène), certains sont cancérigènes. Même des matériaux dits «naturels» peuvent les diffuser, par exemple les bois traités. Les colles, les peintures, les produits d'entretien et de nettoyage, les désodorisants, les parfums (naturels ou artificiels), les feutres... sont des sources classiques de composés organiques volatils. On a souvent envie d'utiliser des produits qui sentent bon mais on n'imagine pas qu'ils émettent beaucoup de composés organiques volatils et polluent l'air.
- Les composés organiques semi-volatils (COSV), tels que les phtalates, les bisphénols, les muscs, les organophosphorés, les pyréthriinoïdes. On les retrouve généralement dans les revêtements, les plastifiants, les produits de traitements du bois, les biocides, les retardateurs de flamme, etc.

- **Les polluants biologiques**

Ils sont issus d'organismes vivants (animaux, végétaux, moisissures, etc.). On en distingue principalement deux types :

- les agents infectieux (bactéries comme les légionnelles, virus, toxines) proviennent des habitants du logement (en cas de maladie contagieuse) ou peuvent se développer dans certains équipements (production d'eau chaude, ventilation mal entretenue, climatisation). Les spores des moisissures peuvent générer des infections.
- les allergènes sont émis par les moisissures, les animaux domestiques, les plantes, les insectes (blattes) et les acariens. Leur prolifération est favorisée par l'humidité et la chaleur [26].

Il s'agit de la pollution par les micro-organismes (bactéries, virus, parasites, champignons, efflorescences planctoniques, etc.) [27].

- **Les polluants organiques**

Les polluants organiques sont les plus nombreux et les plus dangereux. Certains de ces substances sont même cancérigène ou mutagène, d'où l'importance de les éliminer. Ils peuvent être classés en phénols, en hydrocarbures, en colorants, en détergents, en engrais et pesticides, formant de loin, la première cause de pollution des ressources en eaux. Ces matières organiques sont notamment issues des effluents domestiques (déjections animales et humaines, graisses, etc...) mais également des effluents de grandes activités industrielles (le raffinage du pétrole, les charbonnages, la synthèse organique et la manufacture des produits synthétiques, la fabrication des pesticides, l'industrie textile, l'industrie de la pâte à papier, etc...).

Elles provoquent l'appauvrissement en oxygène des milieux aquatiques, avec des effets bien évidents sur la survie de la faune. Ce sont aussi tous les déchets carbonés tels que la cellulose produite par les papeteries, le sucre ou lactosérum des industries agro-alimentaire. A l'inverse des matières en suspension (MES), elles constituent une nourriture de choix pour les microorganismes de l'eau et provoquent leur prolifération. Les matières organiques se mettent alors à vider le milieu de son oxygène, ce qui s'avère fatal pour la vie aquatique et les microorganismes vont le chercher dans les sulfates dissous SO_4^{2-} , qu'elles réduisent en sulfure, qui se dégage sous forme de sulfure d'hydrogène, engendrant une odeur d'œufs pourris [28].

- **Les particules et les fibres**

La poussière contient des particules qui, en suspension dans l'air, peuvent être inhalées. Elle est composée de contaminants très variés : fumées, noir de carbone (suie), pollens, spores, allergènes. Certaines activités (bricolage, cuisine, ménage...) en produisent des quantités importantes ou favorisent leur suspension dans l'air. Les fibres sont des particules allongées d'origine végétale : cellulose, chanvre, sisal, jute... Ou d'origine minérale : amiante, laines de verre et de roche, très utilisées pour l'isolation

- **Les particules radioactives**

Le radon est un gaz radioactif provenant de la désintégration de l'uranium et du radium présents naturellement dans le sol de la croûte terrestre. La présence de radon dans les bâtiments résulte, bien-sûr, du taux de formation de ce gaz dans le sol mais aussi et surtout des caractéristiques de l'enveloppe du bâtiment en contact avec le sol (fissures, tous, porosité...) et de la différence de pression entre le sol et l'intérieur du bâtiment. Ce transfert est particulièrement préoccupant pour les bâtiments où résident des populations sur de longues périodes ; on peut en effet y observer des effets de concentration du radon (habitations, écoles, établissements recevant du public...) [29].

I.4. L'effet de pollution

- **Impact de la pollution atmosphérique sur les êtres vivants**

La pollution de l'air semble avoir des conséquences globales ; en affectant la santé de nombreux êtres vivants évolués, et même d'espèces réputées primitives et résistantes (lichens, algues, invertébrés...). La pollution peut directement tuer des organismes (ex. : lichens sensibles à la pollution acide de l'air). Elle a aussi des impacts indirects (par exemple en dégradant les odeurs, fragrances florales, hormones ou phéromones avant qu'elles atteignent leurs cibles), ce phénomène peut être expliqué par le déclin de certaines populations pollinisatrices (dont certains oiseaux, chauve-souris nectarivore) constatées dans tous les pays industriels et agricoles. Il pourrait aussi expliquer les difficultés qu'ont les individus de certaines espèces (lézards, serpents, amphibiens, certains mammifères) à se reproduire (mâles et femelles ne se retrouvant plus ou moins bien) ou de certaines espèces à se nourrir (l'individu ne percevant plus aussi bien l'odeur qui le conduisait à sa source de nourriture) [30].

- **Impact de la pollution atmosphérique sur l'environnement**

Enfin en ce qui concerne l'environnement, les retombées acides générées par les émissions de SO₂ (industries, centrales thermiques, chauffages domestiques) de NO_x (industries, moteurs à combustion) sont les principales responsables des effets sur :

- les matériaux (édifices, monuments, façade d'immeubles...); elles mettent en danger notre patrimoine culturel et occasionne d'onéreux travaux de ravalement de façades ou une restauration de monuments
- les écosystèmes forestiers : le dépérissement forestier est lié à l'action de plusieurs facteurs souvent hiérarchisés
- les facteurs prédisposant qui agissent depuis longtemps (pauvreté du sol, pollution chronique, changement climatique)
- les facteurs déclenchant qui interviennent brusquement sur des périodes courtes (sécheresse, attaque d'insectes...)
- les facteurs aggravants qui accentuent les effets précédents.
- les écosystèmes aquatiques : L'acidification des lacs et des cours d'eau entraîne parfois une destruction irréversible de la vie aquatique. Cependant on observe depuis ces dernières années une lente amélioration de la situation grâce notamment à la diminution des émissions soufrées [31].

- **Effet de la pollution de l'eau**

La pollution de l'eau peut avoir des conséquences néfastes sur la santé de l'homme. Les nitrates (sels de l'acide nitrique) existants dans l'eau potable peuvent être la cause de maladies mortelles chez les jeunes enfants. Le cadmium, présent dans les engrais dérivés des boues d'épuration, est capable d'être stocké par les plantes cultivées. La consommation ultérieure de ces végétaux contaminés peut provoquer des troubles digestifs sérieux et une atteinte du foie ou des reins.

Non seulement la pollution a des conséquences sur l'homme, mais aussi sur les animaux et les végétaux. Les lacs sont particulièrement exposés à la pollution. Et excessivement en nutriments, provoquant une croissance anormale de la végétation. Elle peut être déclenchée par l'écoulement des engrais chimiques depuis les terres cultivées. Le processus d'eutrophisation entraîne des odeurs désagréables, une prolifération d'algues vertes, l'épuisement des réserves d'oxygène des eaux profondes et des modifications de la composition chimique de l'eau.

Le problème des pluies acides est également devenu très préoccupant ces dernières années. Ces dépôts ont anéanti toute forme de vie dans de nombreux lacs d'Europe du Nord et l'Est, et dans le nord-est des Etats-Unis. Les déchets déversés directement dans les mers contiennent des substances toxiques qui sont plus ou moins rapidement absorbées par les organismes marins. Ils forment également d'importants dépôts près des littoraux, qui entraînent une croissance excessive de certains organismes. Ces déchets proviennent de boues d'épuration, de résidus de dragage, des graviers, du sable et de la vase, ainsi qu'une grande variété de substances toxiques, organiques ou chimiques.

Les déversements accidentels et à grande échelle de produits pétroliers liquides sont une cause importante de pollution des littoraux. Les cas les plus spectaculaires de pollution par hydrocarbures sont dus aux pétroliers géants et aux opérations de forage en mer. Il a été estimé que, pour un million de tonnes de pétrole transportées, une tonne est déversée dans la mer.

I.5. Généralités sur les colorants

Dans la vie quotidienne les colorants sont omniprésents, ce sont des composés chimiques organiques qui peuvent être naturels ou de synthèses. Ils se fixent sur une matière durablement afin de changer sa couleur. On les retrouve dans l'industrie textile, pharmaceutique, ainsi que dans l'agroalimentaire.

Dans ce chapitre, nous allons présenter la structure des colorants et leur définitions, ainsi que leurs historique, puis nous décrirons les différentes familles des colorants chimiques, leurs application, leurs toxicités sur l'environnement et les organismes vivants ; Nous mettrons l'accent parfaitement sur le bleu de méthylène qui fait l'objet de notre travail.

En fin, nous présenterons les principales techniques de dépollution des rejets industriels.

I.6. Historique

Le premier écrit faisant référence à l'utilisation de teinture naturelle est daté de 2600 ans avant J.C. Ce n'est qu'en 1856 que William Henry Perkin, en essayant de synthétiser de la quinine artificielle à partir d'allyltoluidine pour soigner la malaria, a découvert la première matière colorante synthétique dénommée « mauve ». L'industrie des colorants synthétiques était alors née [26]. Aujourd'hui il y a plus de 10000 colorants, ce nombre important a nécessité l'établissement d'un système de classification, un index des colorants en anglais a été mis au point par la « society of dyes and colorists » (UK) et par « American association of textile chemists and colorists » noté (colour Index C.I) , qui décrit les caractéristiques essentielles de chaque colorant telles : leur formule chimique, leur couleur et leur nuance ,leur résistance codifiée à la lumière, aux solvants, à la chaleur, aux différents agents chimiques, ainsi qu'une description des principaux domaines d'utilisation [27] .

I.7. Définition et structure d'un colorant

Un colorant par définition est une substance fortement colorée qui interagit avec le milieu dans lequel elle est introduite, et le colore en s'y dissolvant et en s'y dispersant [28]. En fait, un colorant est un corps susceptible d'absorber certaines radiations lumineuses dans le spectre visible (de 380 à 750 nm) [29]. Ce sont des composés organiques comportant dans leurs molécules trois groupes essentiels : le chromophore, l'auxochrome et la matrice.

Les chromophores sont des groupes aromatiques (électrons π délocalisés), conjugués (liaisons π), comportant des doublets non liants (électrons π) ou des complexes de métaux de transition [29]. La molécule colorante est un chromogène. Plus le groupement chromophore donne facilement un électron, plus la couleur est intense. D'autres groupe d'atomes du chromogène peuvent intensifier ou changer la couleur due au chromophore, ils sont appelés les groupements auxochromes [30]. Le reste des atomes de la molécule correspond à la matrice et à la troisième partie du colorant, tableau I.3.

Tableau I.3 : Principaux groupements chromophores et auxochromes, classés par intensité croissante [31].

Groupes chromophores	Groupes auxochromes
Azo (-N=N-);	Amine primaire (-NH ₂);
Nitroso (-N=O);	Amine secondaire (NHR);
Carbonyl (>C=O);	Amine tertiaire (NR ₂);
Vinyle (-CH=CH-);	Hydroxy (-OH);
Nitro(-NO ₂);	Alcoxyle (-OR);
Thiocarbonyl(>C=S);	Donneurs d'électrons (-Cl).

I.8. Classification des colorants

I.8.1. Les colorants naturels

Un colorant naturel, comme son nom l'indique est une substance colorée qui provient d'un produit naturel, minéral, végétal ou animal.

Les plus connus sont les chlorophylles qui donnent la couleur verte, la betterave rouge, le charbon médicinal végétal qui donne la couleur noire, et la riboflavine donne aux beurres et margarines blanches leur couleur jaune etc...

I.8.2. Les colorants synthétiques

Les colorants synthétiques sont classés selon leur structure chimique et leur méthode d'application sur différents substrats.

I.8.2.1. Classification chimique

I.8.2.1.1. Les colorants azoïque

Les colorants azoïques présentés dans la figure I.1, sont caractérisés par la présence du groupement chromophore N=N reliant deux molécules généralement des aryles. Suivant le nombre de chromophores rencontrés dans la molécule, on distingue trois type de colorants azoïques à savoir les mono azoïques, diazoïques et poly azoïques [32]. Ce type de colorant est caractérisé par les groupements réactifs qui forment des liaisons covalentes avec les groupes de -OH, -NH ou -SH des fibres (coton, laine, soie, nylon) [33].

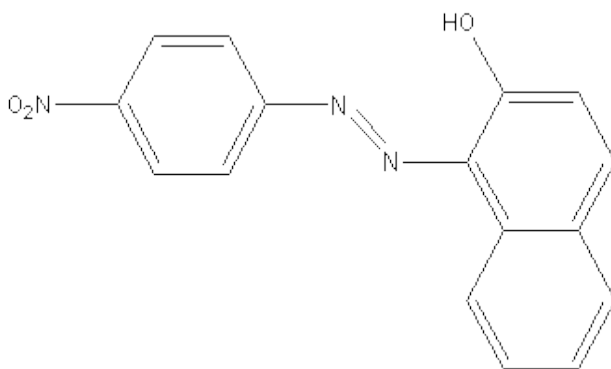


Figure I .1 : Structure moléculaire d'un colorant azoïque [34].

I.8.2.1.2. Les colorants anthraquinoniques

Malgré leurs méthodes complexes de fabrication, les colorants anthraquinoniques montrés dans la figure I.2 sont les plus importants après les colorants azoïques. Ils trouvent une grande variété d'applications notamment lorsque leur stabilité de coloration est supérieure à celle des colorants azoïques. La plupart du temps ils représentent les meilleures stabilités à la lumière et aux agents chimiques [35].

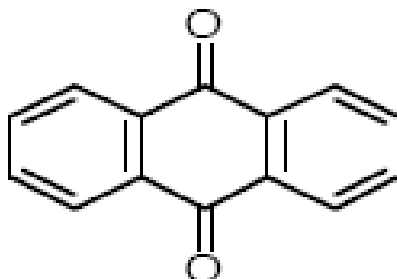


Figure I.2 : Structure moléculaire d'un colorant anthraquinonique [36].

I.8.2.1.3. Les colorants indigoïdes

Les colorants indigoïdes leurs appellations de l'indigo. Ils sont considérés comme l'un des plus anciens des colorants connus avec la pourpre démontré dans la figure I.3, qui est un dérivé dibromo-6,6-indigo. Plusieurs dérivés de ce colorant ont été synthétisés par fixation des substituants sur la molécule de l'indigo. Les homologues séléniés, soufrés et oxygénés du bleu indigo provoquent d'importants effets hypochromes avec des coloris pouvant aller de l'orange au turquoise. Les colorants indigoïdes se caractérisent par une remarquable résistance aux traitements de lavage, alors que la solidité à la lumière est très moyenne. Ils sont utilisés en textile, en industrie pharmaceutique, en confiserie et dans les diagnostics médicales.

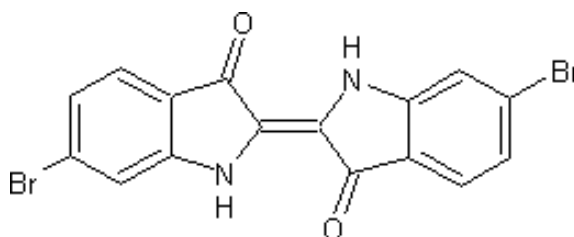


Figure I.3 : Structure moléculaire d'un colorant indigoïde [36].

I.4.2.1.4. Les colorants xanthènes

Les colorants xanthènes dont le composé le plus connu est la fluorescéine, sont dotés d'une intense fluorescence. Peu utilisés en tant que teinture, leur usage est bien établi comme marqueurs lors d'accidents maritimes ou comme traceurs d'écoulement pour des rivières

souterraines, des flux de rejets, etc... [29]. Ils sont aussi utilisés comme agents de traçage dans des produits tels que les cosmétiques, les drogues, les encres, les textiles, le cuir, etc... [37]. Leur structure est présentée dans la figure I.4.

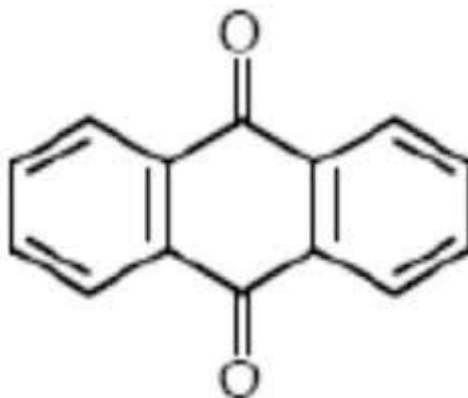


Figure I.4 : Structure moléculaire d'un colorant xanthène [38].

I.8.2.1.5. Les colorants phtalocyanines

Leur structure complexe est basée sur l'atome central de cuivre qui est indiquée dans la figure I.5. Les colorants de ce groupe sont obtenus par réaction du dicyanobenzène en présence d'un halogénure métallique (Cu, Ni, Co, Pt, etc...), le colorant le plus utilisé est la phtalocyanine de cuivre qui est le plus stable. Leurs applications importantes concernent le domaine des pigments [29].

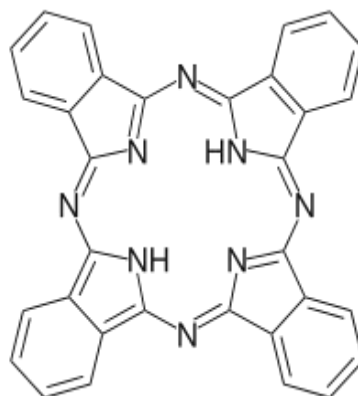


Figure I.5 : Structure d'un colorant phtalocyanine [36].

I.8.2.1.6. Les colorants nitrés et nitrosés

Ils forment une classe de colorants très limitée en nombre et relativement ancienne. Ils sont actuellement encore utilisés, du fait de leur prix très modéré lié à la simplicité de leur structure moléculaire décrite dans la figure I.6, caractérisée par la présence d'un groupe Nitro ($-\text{NO}_2$) en position ortho d'un groupement électro donneur (hydroxyle ou groupe aminé) [38]

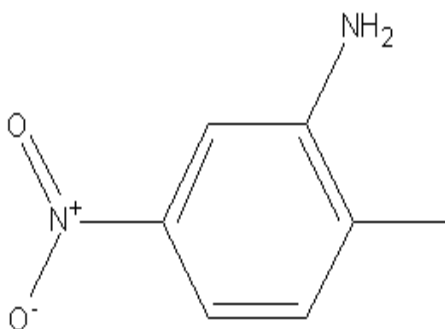


Figure I.6 : Structure moléculaire d'un colorant nitré et nitrosé [38].

I.8.2.1.7. Les colorants triphénylméthanes

Le triphénylméthane et ses homologues constituent les hydrocarbures fondamentaux d'où dérivent toute une série de matières colorantes. Ce sont des dérivés du méthane pour qui les atomes d'hydrogène sont remplacés par des groupes phényles dont au moins un est porteur d'un atome d'oxygène ou d'azote, structuré dans la figure I.7. On les retrouve dans le domaine industriel et médical comme marqueur biologique et comme agent antifongique chez les poissons et la volaille [36].

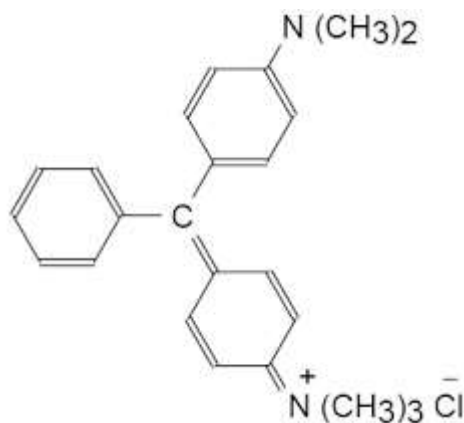


Figure I.7 : Structure moléculaire d'un colorant triphénylméthane [36].

I.8.2.2. Classification tinctoriale

La classification tinctoriale des colorants repose sur la nature du groupe auxochrome, qui détermine le type de la liaison colorant-substrat.

I.8.2.2.1. Les colorants acides ou anioniques

Les colorants acides sont des acides sulfoniques organiques, les formes disponibles dans le commerce sont habituellement des sels de sodium, qui présentent une bonne solubilité dans l'eau. En fonction de leur importance, les colorants acides sont principalement utilisés avec certains types de fibres comme les polyamides, la laine, la soie, l'acrylique modifiée et les fibres de polypropylène, ainsi que les mélanges des fibres précitées avec d'autres fibres comme le coton, la rayonne, l'acrylique, etc... [39].

Les colorants anioniques comprennent de nombreux composés des classes les plus variées de colorants, qui présentent des différences de structure caractéristiques mais possèdent en commun des substituant ioniques hydro solubilisants [39]. La figure I.8 résume la structure moléculaire d'un colorant acide.

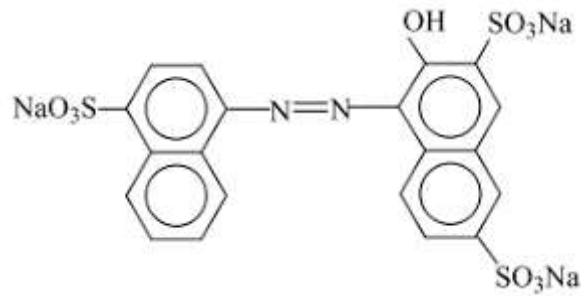


Figure I.8 : Structure moléculaire d'un colorant acide ou anionique [40].

I.8.2.2.2. Les colorants basiques ou cationiques

Les colorants basiques sont des matériaux cationiques qui ont une grande affinité pour se lier aux sites anioniques (typiquement SO_3) dans l'acrylique et certaines autres fibres [41], présentés dans la figure I.9.

Un colorant basique caractérisé par sa substantivité pour les types acides de fibres acryliques et pour le coton tannin-mordant, tandis qu'un colorant cationique est défini comme un colorant qui se dissocie en solution aqueuse pour donner une couleur chargée positivement d'ion. [42].

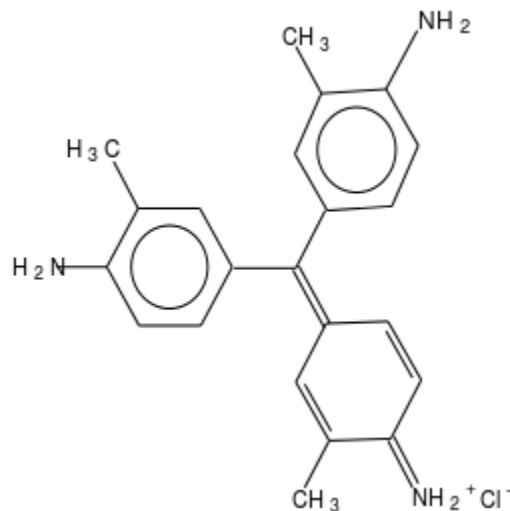


Figure I.9 : Structure moléculaire d'un colorant basique ou cationique [42].

I.8.2.2.3. Les colorants réactifs

Les colorants réactifs ont été les plus couramment utilisés en raison de leurs avantages tels que des meilleures conditions de traitement de teinture et des couleurs vives. De plus, l'utilisation de colorants réactifs augmente rapidement en raison de l'utilisation accrue de fibres

cellulosiques. Les colorants réactifs contiennent généralement des groupes fonctionnels tels que: azotique, anthraquinone, phtalocyanine, formazine et oxazine comme chromophore. Parmi les colorants réactifs, environ 66% sont des colorants azotiques non métallisés [43]. Les colorants réactifs forment une liaison covalente entre la fibre et la molécule de colorant. Ils sont solubles dans l'eau, et possèdent une très haute résistance au lavage et un taux modéré de diffusion [44].

I.8.2.2.4. Les colorants métallifères

Les colorants métallifères sont des complexes forts contenant un atome métallique (Cr, Ni, Co). L'atome métallique peut être associé :

- A une molécule de colorant (complexe métallifère 1/1) tel que le bleu acide 158.
- Ou à deux molécules de colorant (complexe métallifère 1/2) tel que le noir acide 60.

Les colorants métallifères sont généralement des colorants azoïques mais aussi des phtalocyanines.

I.8.2.2.5. Les colorants directs

Les colorants directs sont des colorants solubles dans l'eau (présence de groupes sulfonates) et essentiellement des colorants azoïques ou aussi des phtalocyanine. Les avantages principaux de ces colorants sont la grande variété des coloris, leur facilité d'application et leur prix modique. Par contre, leur inconvénient principal réside dans leur faible solidité au mouillé [40].

I.9. Domaine d'application des colorants

L'industrie des colorants constitue un marché économique considérable car de nombreux produits industriels peuvent être colorés, principalement dans [45] les industries de :

Textile ;

Matières plastiques (pigments) /

Bâtiment : peinture (pigments) ;

Pharmaceutique (colorants) ;

Cosmétiques ;

Agroalimentaire (colorants alimentaire) ;

Imprimerie (encre, papier) ;

Carburants et huiles.

I.10. La toxicité des colorants

Par définition, la toxicité des colorants est la mesure de la capacité d'une substance à provoquer des effets néfastes sur toute forme de vie. Le sujet d'une étude toxicologique se fait sur une substance ou sur les conditions externes et leurs effets délétères sur les organismes vivants, tissus, cellules ou organites [46].

Des études faites sur divers colorants commerciaux ont démontré que les colorants basiques sont les plus toxiques pour les algues. Il s'est avéré que les colorants basiques, et plus particulièrement ceux de la famille de cationique sont les plus toxiques, bien qu'ils soient très toxiques, il est difficile d'évaluer leur comportement dans les eaux naturelles. On peut s'attendre à ce que les colorants cationiques s'adsorbent fortement dans les sédiments, ce qui réduira leurs effets toxiques [47].

En revanche, l'exposition aux amines aromatiques peut entraîner une méthémoglobinémie. Les amines oxydent le fer hémique de l'hémoglobine de Fe(II) en Fe(III), bloquant la liaison à l'oxygène. Cela se traduit par des symptômes caractéristiques comme la cyanose des lèvres et du nez, la faiblesse et les vertiges. La mesure dans laquelle diverses amines aromatiques peuvent provoquer une méthémoglobinémie varie toutefois largement [48].

La toxicité des azotiques par exposition aux colorants et à leurs métabolites n'est pas un fait nouveau. Dès 1895, l'augmentation du nombre de cancers de la vessie observés chez des ouvriers de l'industrie textile, est reliée à leur exposition prolongée aux colorants azoïques. Depuis, les travaux effectués sur ces colorants ont démontré que ces composés chimiques présentaient des effets cancérigènes sur l'homme et sur l'animal [31].

I.11. Les différentes méthodes traitements des colorants

Des quantités plus ou moins importantes de colorants sont rejetées dans l'environnement, ceci est dû en grande partie à leur degré de fixation et par manque d'affinité avec les surfaces à teindre ou à colorer. En raison de leur composition extrêmement hétérogène, les rejets textiles sont difficiles à traiter efficacement, pour obtenir un traitement efficace, il est donc nécessaire de déterminer aussi précisément que possible la composition qualitative et quantitative des

composés toxiques présents dans les rejets textiles. L'un des facteurs les plus importants pour évaluer l'efficacité du traitement et la possibilité de réduire les concentrations de substances chimiques dans les eaux usées. Divers méthodes physiques, chimiques et biologiques de traitement sont connues, Le tableau I.2 présente les différentes méthodes de traitements des colorants [49].

Tableau I.4 : Les différentes méthodes de traitements [50].

Technologie	Exemple	Avantages	Inconvénients
Coagulation /Floculation	Chaux ; FeCl ₃ ; Poly Electrolyte.	Equipement simple ; Décoloration relativement rapide Réduction significative de la DCO.	Formation de boues ; Adjonction de produits chimiques nécessaires ; Fonctionnement onéreux ; Coagulation non réutilisables ; Réduction spécifique de la couleur ; Peu d'informations sur la réduction de DBO et DCO .
Filtration sur membranes	Osmose inverse ; Nano filtration ; Microfiltration ; Ultrafiltration.	Utilisation simple et rapide ; Pas d'addition de produits chimiques ; Faible consommation énergétique – Réduction de la couleur ; Grands volumes traités.	Investissement important ; Sélectif ; Encrassement rapide des membranes ; Pré et post traitement nécessaires.

Adsorption	Carbone activé, Silice.	Réduction efficace de la couleur ; Technologie simple ; Faible cout d'utilisation pour certains adsorbants.	Investissement et cout de fonctionnement élevés. Lent et limité en volume ; Régénération des adsorbants onéreuse voire impossible ; Sélectif ; Formation de boue .
Oxydation chimique	Ozone ; Réactifs de fenton ; Chloration.	Traitement de gros volumes ; Diminution nette de la chloration ; Décoloration rapide et efficace ; Opération simple ; Oxydation puissant.	Investissement cout de fonctionnement très élevés ; Efficacité limitée pour certains colorants ; Produits d'oxydation inconnus ; Cout élevé ; Produits d'oxydation inconnus, Formation de sous-produits de chloration (cancérogènes).
Réduction chimique	Chlorure d'étains, hydro sulfite	Décoloration efficace des azoïques	Formation d'amines aromatiques Dégradation incomplète
		Approprié pour les colorants Insolubles ; Décolore la plupart des colorants par	Spécifique à certains colorants ; Décoloration variable ;

Procédés Biologiques	Aérobie, Anaérobie.	un mécanisme de réduction ; Réutilisation du méthane produit comme source d'énergie sur le site.	Grandes quantités de boues générées ; Besoins énergétiques Importants ; Produits de dégradation inconnus ; Beaucoup de produits toxiques non dégradés ; Nécessite de grands réservoirs d'aération.
----------------------	------------------------	---	--

I.12. Généralités sur le bleu de méthylène

Dans ce travail, nous nous sommes intéressés à l'étude du colorant bleu de méthylène (MB) en vue de son élimination par la technique d'adsorption.

Le bleu de Méthylène structuré dans la figure I.1 est un dérivé de phénothiazine [51], et est un colorant cationique [52], il existe sous forme d'une poudre verte foncée, et à différents états hydratés : le monohydraté, le di hydraté, le trihydraté qui est le plus rencontré et le pentahydraté [53]. Il est couramment utilisé comme modèle de contaminant organique en raison de sa structure moléculaire stable [51].

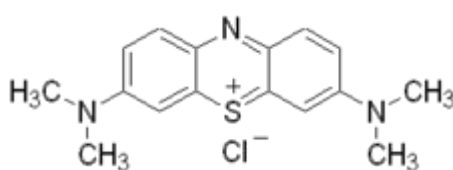


Figure I.10 : Structure chimique du bleu de méthylène.

Les dérivés du bleu de méthylène sont : Azure de méthylène de formule chimique $C_{16}H_{18}N_3SO_2$, violet de méthylène de formule chimique $C_{14}H_{12}N_2SO$, rouge de méthylène $C_{16}H_{18}N_4S, 2(HCl)$ et la base libre du bleu de méthylène $C_{16}H_{18}N_3SOH$ [54].

I.12.1. Domaine d'utilisation du bleu de méthylène

Le bleu de Méthylène est utilisé intensivement dans différents domaines tels que : la chimie, la médecine, l'art dentaire et l'industrie des colorants. Les principaux usages de ce composé sont :

Colorant vital, il colore certaines structures histologiques.

- Accélère la réduction des méthémoglobines.
- Antiseptique [55], un antirhumatismal [53].
- Coloration du coton, bois, soie et papier [56, 57].
- Limiteur optique combiné à un polymère, pour la protection des yeux contre les lasers intenses [58].
- Photosensibilisateur actif pour le traitement des tumeurs malignes [51].
- Traitement spécifique d'une méthémoglobinémie toxique [58].

Tableau I.5 : Principales caractéristiques physico-chimiques du bleu de Méthylène [59].

Propriétés	
Dénomination	Bleu de méthylène ou chlorure de tétraméthylthionine, Basic blue 9 (C.I.)
Appellation chimique	Chlorure de 3,7- bis (diméthylamino) Phénazathionium
Masse molaire (g/mol)	319,85
Solubilité dans l'eau (g /l) à 20°C	40
Point de fusion (°C)	180
Potentiel d'Hydrogène	5,9
PKa	3,8
logeur d'onde (max)	665 – 662

I.12.2. Toxicité du bleu de méthylène

Les données toxicologiques relatives à l'utilisation du bleu de méthylène chez l'homme depuis de nombreuses années ont indiqué jusqu'à présent l'absence de danger lié l'utilisation de ce

produit comme médicament, dont la dose totale administré ne doit pas dépasser 7mg/kg. Il peut causer, néanmoins, des douleurs thoraciques, une dyspnée ; une anxiété, des tremblements, des hypertensions, et même la coloration de la peau si la dose est élevée.

Le bleu de méthylène n'est pas fortement dangereux, mais il a un effet nocif sur les organismes vivants et les eaux [57]. L'exposition aigue à ce produit causera:

- Exposition externe: irritation de la peau et des dommages permanentes aux yeux [57].
- Par l'inhalation: respiration rapide ou difficile [54] et augmentation de la fréquence cardiaque [57].
- Par l'ingestion : irritation de l'appareil gastro-intestinal, nausée, transpiration prodigue, confusions mentaux, cyanose et nécrose des tissus humains [56,57].

Chapitre 99

Généralités sur le phénomène d'adsorption

Chapitre II : Généralités sur le phénomène d'adsorption

II.1. Principe de l'adsorption

Fantana et Schelle ont découvert le phénomène d'adsorption en 1711 [60]. L'adsorption d'une substance sur la surface d'un solide dépend principalement des propriétés texturales et structurales de ce dernier, et en particulier le nombre et la forme des pores ainsi que la nature des fonctions de surface. On appelle désorption la transformation inverse de l'adsorption, par laquelle les molécules ou les atomes adsorbés se détachent du substrat. Le solide conserve son intégrité physique et son architecture cristallographique. La figure II.1 illustre le mécanisme d'adsorption.

En général ce phénomène se déroule par : des interactions adsorbant/adsorbat (entre le solide et les molécules adsorbées) ; des interactions adsorbat/adsorbat (entre les différentes molécules adsorbées). Il y a donc un transfert de matière de la phase aqueuse ou gazeuse vers la surface du solide. Le solide acquiert alors des propriétés superficielles susceptibles de modifier l'état d'équilibre du milieu [61]. La nature des liaisons formées ainsi que la quantité d'énergie dégagée lors de la rétention d'une molécule à la surface d'un solide permettent de distinguer deux types d'adsorption : adsorption physique et adsorption chimique [62].

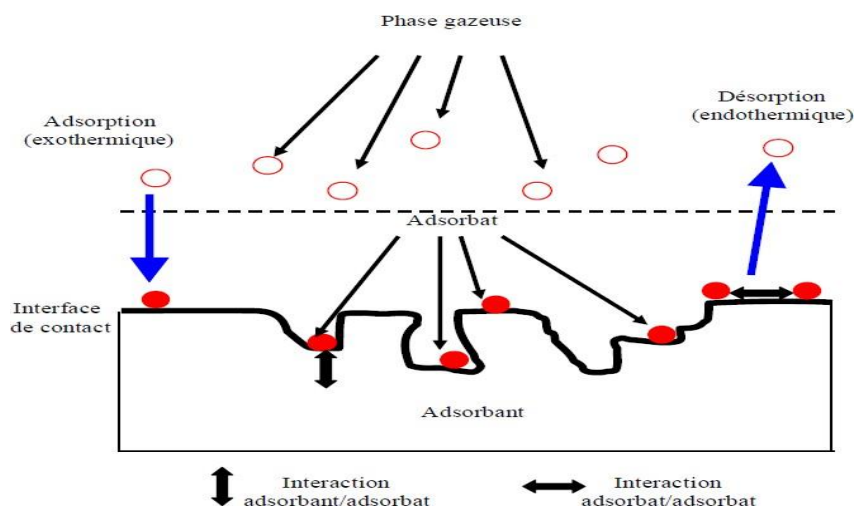


Figure II.1 : phénomène d'adsorption

II.2. Types d'adsorption

L'adsorption est un procédé de traitement, bien adapté pour éliminer une très grande diversité de composés toxiques dans notre environnement. Elle est essentiellement utilisée pour le traitement de l'eau et de l'air. Au cours de ce processus les molécules d'un fluide (gaz ou liquide), appelé adsorbat, viennent se fixer sur la surface d'un solide, appelé adsorbant. Ce procédé définit la propriété de certains matériaux de fixer à leur surface des molécules (gaz, ions métalliques, molécules organiques, etc.) d'une manière plus ou moins réversible. Au cours de ce processus, il y a donc un transfert de matière de la phase liquide ou gazeuse vers la surface solide. Le solide acquiert alors des propriétés superficielles (hydrophobie ou hydrophile) susceptibles de modifier l'état d'équilibre du milieu (dispersion, floculation) [63]. La nature des liaisons formées ainsi que la quantité d'énergie dégagée lors de la rétention d'une molécule à la surface d'un solide permettent de distinguer deux types d'adsorption : adsorption physique et adsorption chimique [63].

II.2.1. Adsorption physique (physisorption)

C'est une adsorption de type physique, qui se produit lorsque les forces qui fixent l'adsorbat dans une couche mono ou multimoléculaire à la surface de l'adsorbant sont du même ordre que les forces de Van der Waals [64]. Elle se produit sans modification de structure moléculaire, mettant en jeu une chaleur d'adsorption assez faible ($< 40 \text{ KJ/mole}$), parfaitement réversible et qui est en outre favorisée par une basse température [65].

II.2.2. Adsorption chimique (chimisorption)

C'est une adsorption de type chimique, qui résulte des forces de liaisons de nature chimique (nettement supérieures aux forces de Van der Waals) avec mise en commun ou transfert d'électron ; il y a donc des ruptures et des créations de liaisons chimiques en surface entre l'adsorbat et les sites actifs de l'adsorbant [64]. La chaleur d'adsorption mise en jeu est en général assez grande, dépassant les 80 kJ/mole . L'adsorption chimique est souvent irréversible (ou difficilement réversible) et favorisée par une haute température [65].

L'adsorption peut être physique ou chimique, le tableau II.1 montre la différence entre ces deux types :

Tableau II.1 : Principales différences entre les deux types d'adsorption [66].

Propriétés	Adsorption physique	Adsorption chimique
Types de liaisons	Liaison de Van der Waals	Liaison chimique
Température du processus	Relativement faible comparée à la température d'ébullition de l'adsorbat	Plus élevée que la température d'ébullition de l'adsorbat
Individualités des molécules	L'individualité des molécules est conservée	Destruction de l'individualité des molécules
Désorption	Facile	Difficile
Cinétique	Rapide, indépendante de la température	Très lente
Chaleur d'adsorption	Inférieure à 80 kJ/mol	Supérieure à 80 kJ/mol
Energies mises en jeu	Faibles	Elevées
Type de formation	Formation de multicouches et de monocouche	Formation de monocouche

II.3. Description du mécanisme d'adsorption

L'adsorption se produit principalement en quatre étapes. La figure II.3 représente un matériau (adsorbant) avec les différents domaines dans lesquels peuvent se trouver les molécules organiques ou inorganiques (adsorbat) qui sont susceptibles de rentrer en interaction avec le solide [67].

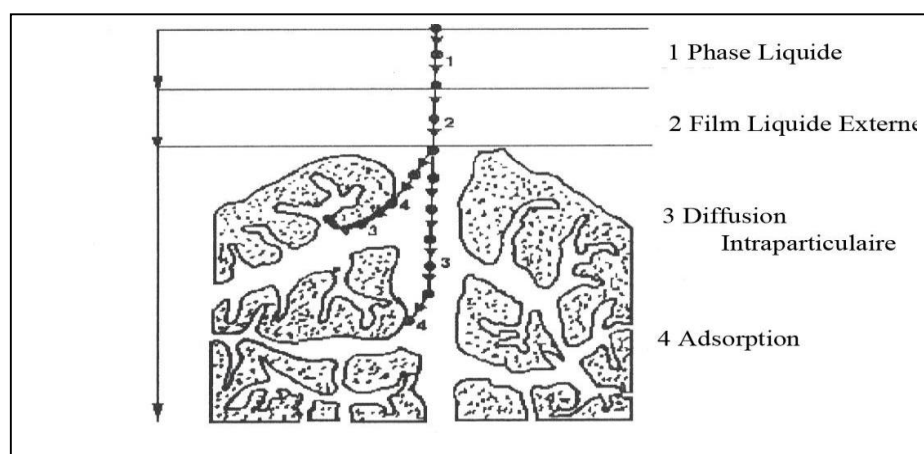


Figure II.2 : Schéma du mécanisme de transfert d'un adsorbat au sein

d'un matériau microporeux.

Avant son adsorption, le soluté va passer par plusieurs étapes :

1. Diffusion de l'adsorbat de la phase liquide externe vers celle située au voisinage de la surface de l'adsorbant.
2. Diffusion extra-granulaire de la matière (transfert du soluté à travers le film liquide vers la surface des grains).
3. Transfert intra-granulaire de la matière : transfert de la matière dans la structure poreuse de la surface extérieure des grains vers les sites actifs.
4. Réaction d'adsorption au contact des sites actifs, une fois adsorbée, la molécule est considérée comme immobile.

II.4. Classification des isothermes d'adsorption

Selon la classification de l'I.U.P.A.C, les isothermes d'adsorption-désorption peuvent être regroupées selon six types (Figure 4).

Type I

L'isotherme d'équilibre d'adsorption de type I, est caractéristique d'un adsorbant dont le volume microporeux est particulièrement élevé. La saturation des sites d'adsorption se fait progressivement dès les faibles concentrations et la forme de l'isotherme est caractérisée par un long plateau indiquant une formation de monocouches. Cette forme est à rapprocher du modèle mathématique de Langmuir dans lequel les sites d'adsorption sont considérés équivalents.

Type II

L'isotherme de type II, est observée dans le cas d'adsorbants ayant un volume macroporeux important de diamètre supérieur à 500Å. L'adsorption se fait d'abord en monocouche puis en multicouches. Il y a de fortes interactions intermoléculaires comparées aux interactions entre les molécules d'adsorbat et le solide.

Type III

Elle indique la formation de couches poly-moléculaires, dès le début de l'adsorption et avant que la surface ne soit recouverte complètement d'une couche mono-moléculaire. L'adsorption additionnelle est facilitée du fait que l'interaction de l'adsorbât avec la couche formée est plus importante que

l'interaction entre l'adsorbat et l'adsorbant.

Type IV

L'isotherme d'équilibre d'adsorption de type IV, est associée aux adsorbants plutôt méso poreux. La présence de deux paliers peut résulter de la formation de deux couches successives d'adsorbat à la surface du solide. Quand les interactions entre les molécules d'adsorbat et la surface de l'adsorbant sont plus fortes que celles des molécules de l'adsorbat entre elles, les sites d'adsorption de la seconde couche ne commencent à être occupés que lorsque la première couche est totalement saturée.

Type V

Les isothermes d'équilibre d'adsorption de type V, sont caractéristiques d'adsorbants méso poreux avec formation de multicouches aux faibles concentrations. Comme pour l'isotherme de type III, ce comportement est représentatif d'interactions plus fortes entre les molécules d'adsorbat qu'entre les molécules d'adsorbat et celles de l'adsorbant.

Type VI

L'isotherme de type VI est associée à une adsorption couche par couche sur une surface hautement uniforme.

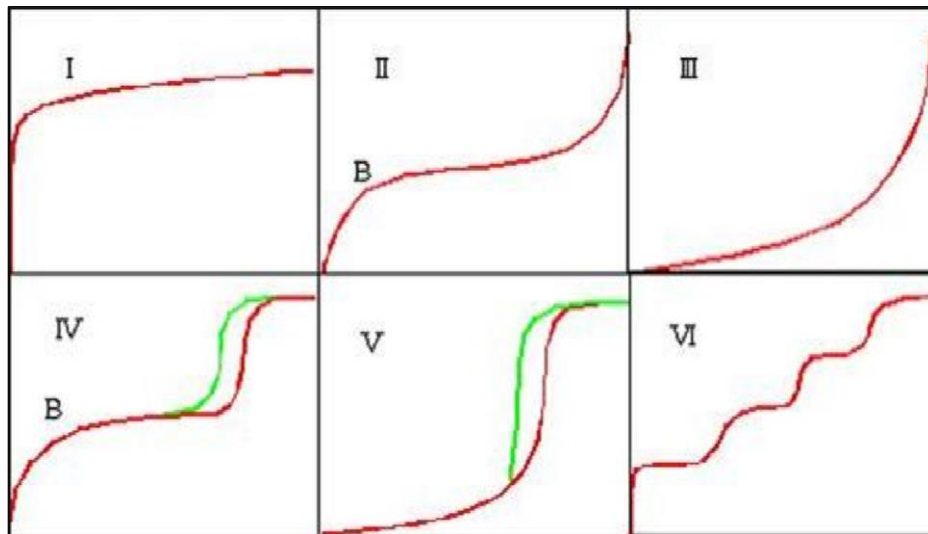


Figure II.3 : Différents types d'isothermes d'adsorption des gaz selon l'IUPAC [68].

II.5. Modélisation des isothermes d'adsorption

L'isotherme d'adsorption est une représentation graphique de la quantité adsorbée par unité de masse

ou unité de surface en fonction de la concentration du soluté à l'équilibre. Cette représentation permet de caractériser les interactions adsorbant/adsorbat en étudiant l'effet de la concentration initiale du soluté sur la capacité d'adsorption des adsorbants.

La quantité adsorbée par unité de masse peut être calculée à partir l'équation suivante :

$$q = (C_i - C_e) V/m \quad \text{II.1}$$

Avec :

q : Quantité adsorbée exprimée en mg de soluté par gramme d'adsorbant (mg/g).

C_i : Concentration initiale de soluté en (mg/l)

C_e : Concentration du soluté à l'équilibre en (mg/l)

V : volume du soluté en litre (L)

m : masse d'adsorbant en gramme (g)

Plusieurs modèles mathématiques ont été développés pour la caractérisation des interactions adsorbant-adsorbat. Pour notre étude, nous avons eu recours à deux modèles empiriques les plus sollicités. Le modèle de Freundlich et celui de Langmuir. Ces deux modèles donnent dans la plupart des cas une représentation correcte des isothermes d'adsorption.

II.5.1. Modèles mono-soluté à deux paramètres

a) Le Modèle de Freundlich

Le modèle de Freundlich suppose que la surface de l'adsorbant est hétérogène avec une distribution énergétique non uniforme des sites d'adsorption sur la surface [69].

La forme non linéaire de ce modèle est exprimée par l'équation suivante :

$$q = K_f C_e^{1/n} \quad \text{II.2}$$

Avec :

q: Quantité de l'adsorbat à l'équilibre en mg/g ;

K_f : Constante de Freundlich qui exprime l'affinité d'adsorption ;

C_e : Concentration à l'équilibre du l'adsorbant en mg/L ;

1/n : Constante de Freundlich qui traduit l'intensité d'adsorption.

Les constantes K_f et n peuvent être déterminées à partir de la forme linéaire suivante :

$$\text{Log } q_e = \text{log } K_f + 1/n \text{ log } C_e \quad \text{II.3}$$

Une valeur de K_f élevée signifie que le pouvoir adsorbant de la phase solide est importante. Tandis qu'une valeur de $1/n$ inférieure à 1 indique que le processus d'adsorption est favorable.

K_f : Constante tenant compte de la capacité d'adsorption.

n : Constante tenant compte de l'intensité d'adsorption.

Il est généralement admis que des faibles valeurs de $1/n$ ($0,1 < 1/n < 0,5$) sont caractéristiques d'une bonne adsorption, alors que des valeurs plus élevées révèlent une adsorption modérée ($0,5 < 1/n < 1$) ou faible ($1/n > 1$) [70].

b) Le Modèle de Dubinin–Radushkevich (D–R)

La théorie de Dubinin-Radushkevich repose sur le fait que le potentiel d'adsorption est variable et que l'enthalpie libre d'adsorption est reliée au degré de remplissage des pores [208, 209]. En général, ce modèle peut être appliqué pour décrire l'adsorption sur les deux surfaces homogènes et hétérogènes [71]. L'isotherme de Dubinin-Radushkevich est donnée par l'équation :

$$q_e = q_{max} \exp(-\beta \varepsilon^2) \quad \text{II.4}$$

Avec :

q_{max} : capacité d'adsorption à la saturation, elle représente le volume total des micropores de l'adsorbant ;

β : constante relie l'énergie d'adsorption E ($\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$), qui est défini comme le changement d'énergie libre nécessaire pour transférer 1 mole d'ions à partir de la solution aux surfaces du solide [72, 73] et le potentiel Polanyi ε qui est égale à :

$$\varepsilon = RT \ln \left(1 + \frac{1}{c_e} \right) \quad \text{II.5}$$

R : Constante des gaz parfaits ($8,31 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$),

T : Température (K) de la solution.

La valeur de l'énergie de sorption, E (kJ/mol), peut être calculée à partir du paramètre de D-R, comme suit :

$$E = \frac{1}{\sqrt{2\beta}} \quad \text{II.6}$$

La valeur de E (kJ/mol) fournit des informations sur le type de mécanisme d'adsorption comme l'adsorption d'échange ionique chimique ou physique. Une valeur de E entre 8-16 kJ/mol correspond aux processus d'échange ionique chimique. Dans le cas où $E < 8$ kJ/mol, le mécanisme d'adsorption est régi par sorption physique et il peut être dominé par diffusion de particules si $E > 16$ kJ/mol [72, 73].

c) Le Modèle de BET (Brunauer, Emmet et Teller)

Les trois auteurs ont généralisé la théorie de Langmuir en admettant que l'adsorption correspond à plusieurs adsorptions monocouches, se comportant donc comme si elle était seule. L'isotherme BET a peu d'application en phase aqueuse, et sert surtout à déterminer les surfaces spécifiques des adsorbants par l'azote gazeux. Les hypothèses de ce modèle sont [74] :

- ✚ La formation de multicouches d'adsorbant,

- ✚ Une distribution homogène des sites sur la surface de l'adsorbant,

- ✚ L'existence d'une énergie d'adsorption qui retient la première couche de molécules adsorbées et une deuxième énergie qui retient les couches suivantes. Le modèle de BET est représenté par l'équation suivante :

$$\frac{P/P_0}{V(1-\frac{p}{p_0})} = \frac{1}{CVm} + \frac{C-1}{CVm} \left(\frac{p}{p_0}\right) \quad \text{II.7}$$

V : quantité d'adsorbant fixée à la pression P exprimée en cm³ (TPN) par gramme ; P₀ : pression de vapeur saturée du gaz ;

V_m : volume de la monocouche ;

C : constante liée aux énergies d'adsorption.

L'équation (I.10) permet de calculer le volume ou le nombre de molécules nécessaires pour former une monocouche. Connaissant l'aire de surface σ_m occupée par une molécule adsorbée à la surface du solide, il est possible de calculer la surface spécifique, notée S_{BET}, à l'aide de l'équation suivante :

$$S_{BET} = \frac{6,022 \times 10^{23}}{22414} \times Vm \times \sigma \quad \text{II.8}$$

d) Le Modèle de Langmuir

C'est le modèle le plus utilisé pour commenter les résultats trouvés au cours de l'adsorption des composés organiques ou inorganiques en solution aqueuse. Il définit l'équilibre comme un processus dynamique entre les molécules arrivant à la surface et celles quittant la surface. La théorie de Langmuir repose sur les hypothèses suivantes [75]:

✚ L'adsorption se fait en couche mono-moléculaire.

✚ Les interactions intermoléculaires de la phase adsorbée sont négligeables.

✚ Tous les sites sont énergétiquement équivalents et la surface est uniforme.

A une température constante, la quantité adsorbée à l'équilibre q_e est liée à la capacité maximale d'adsorption q_m , à la concentration à l'équilibre C_e du soluté et à la constante d'affinité K_L par l'équation:

$$\frac{q_e}{q_m} = \frac{K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad \text{II.9}$$

La forme linéaire de l'équation (I.2) est représentée comme suit :

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{C_e}{q_m} + \frac{1}{K_L q_m} \quad \text{II.10}$$

Notons que certains auteurs définissent le rapport R_L comme une grandeur sans dimension indiquant si l'adsorption est favorable ou défavorable [76], il est donné par l'équation suivante :

$$R_L = \frac{1}{1 + K_L C_0} \quad \text{II.11}$$

Il y a quatre possibilités pour les valeurs de R_L [203-205] :

- ✓ $0 < R_L < 1$: adsorption favorable
- ✓ $R_L > 1$: adsorption défavorable
- ✓ $R_L = 1$: adsorption linéaire
- ✓ $R_L = 0$: adsorption irréversible

II.5.2. Modèles mono-soluté à trois paramètres

La plupart de ces modèles étant dérivés des modèles simples de Langmuir et de Freundlich [77]. Il est à noter que ces modèles ne peuvent pas être résolus analytiquement, mais uniquement par les méthodes numériques, tels que la méthode des moindres carrés non-linéaire (NLLS).

a) Le Modèle de Redlich-Peterson

C'est le modèle mono-soluté à trois paramètres qui est le plus cité et le plus utilisé dans la littérature parce qu'il peut être appliqué sur une large gamme de concentration [78, 79]. C'est un modèle empirique combinant les paramètres des équations de Langmuir et de Freundlich.

Dans la première publication de Redlich et Peterson, le modèle est appliqué à l'adsorption en phase gazeuse [80]. Par analogie, son expression en phase liquide est de la forme suivante :

$$n e = \frac{K_{rp} C_e q_m}{1 + (K_{rp} C_e)^{1/n}} \quad \text{II.12}$$

q_e : quantité de l'adsorbé à l'équilibre

C_e : concentration de la solution à l'équilibre

K_{RP} : constante d'équilibre relative au modèle de Redlich-Petersen

q_m : quantité adsorbée maximale pour une monocouche (mg/g)

n : facteur d'hétérogénéité dépendant des propriétés de surface du matériau.

b) Le Modèle de Langmuir-Freundlich

C'est une équation basée sur les isothermes de Langmuir et Freundlich. Elle décrit bien les surfaces hétérogènes. L'équation peut être écrite comme suit [79] :

$$n_e = \frac{q_m k_{lf} (c_e)^{1/n}}{1 + q_m k_{lf} (c_e)^{1/n}} \quad \text{II.13}$$

Avec :

q_e : quantité adsorbée à l'équilibre,

C_e : concentration de la solution à l'équilibre

K_{lf} : constante d'équilibre relative au modèle de Langmuir-Freundlich

q_m : quantité adsorbée maximale (mg/g),

n : facteur d'hétérogénéité dépendant des propriétés de surface du matériau.

II.6. Facteurs influençant le processus d'adsorption

Le processus d'adsorption dépend de plusieurs paramètres qui peuvent influencer la capacité et la cinétique de la rétention d'un soluté sur un adsorbant. Il s'agit des paramètres suivants :

II.6.1. Structure des adsorbants

La structure et la nature des adsorbants jouent un rôle important pour le piégeage des différents composés organique et inorganique présent dans les eaux. La taille des particules, la surface spécifique et la porosité sont les principales propriétés qui affectent l'affinité d'un adsorbant vis-à-vis du soluté.

II.6.2. Choix de l'adsorbat

Les propriétés physico-chimiques de l'adsorbat sont déterminantes et jouent un rôle primordial lors de son adsorption sur une surface solide de l'adsorbant. La structure moléculaire est l'un des principaux paramètres qui influence la rétention des adsorbats. Plus la structure moléculaire est volumineuse plus sa rétention par certaines phases solides est difficile. Par ailleurs, l'adsorption des solutés est conditionnée par la composition de la solution puisqu'en présence simultanée de plusieurs espèces génère une concurrence vis-à-vis des sites d'adsorption surtout pour celles qui possèdent une structure similaire.

II.6.3. Influence du pH

Le pH est un paramètre prédominant dans le processus d'adsorption. Il affecte directement l'état de charge de l'adsorbant et de l'adsorbat. Son effet sur la rétention des contaminants est souvent étudié. Dans la plupart des cas, le pH faible favorise l'adsorption des anions alors que le milieu alcalin favorise les cations.

II.6.4. Influence de la température

L'adsorption est un processus global résultant de plusieurs processus à l'interface solide-liquide. Elle

peut être exothermique, endothermique ou athermique. Elle est donc conditionnée par la température. Ainsi, l'augmentation de la température favorise les processus de chimisorption alors que son abaissement favorise l'adsorption physique [81].

II.6.5. Surface spécifique

La dépendance de la cinétique d'adsorption à la dimension de la surface externe des particules est fondamentale pour l'utilisation d'un adsorbant. Cette surface spécifique externe ne représente pourtant qu'une portion minime de la surface totale disponible à l'adsorption. Cette surface totale peut être augmentée par un broyage de la masse solide qui multiplie encore sa porosité totale [82].

II.6.6. Autres paramètres

Plusieurs facteurs comme, la concentration initiale, la quantité de l'adsorbant, et le temps de contact, ont des effets profonds sur l'adsorption.

II.7. La cinétiques d'adsorption

La cinétique d'adsorption permet de déterminer le temps nécessaire à la mise en équilibre entre le soluté et l'adsorbant. Elle permet d'avoir aussi une idée sur le mécanisme d'adsorption et le mode de transfert entre le deux phases liquide et solide. Plusieurs modèles cinétiques ont été développés pour décrire la cinétique d'adsorption et pour spécifier la nature des interactions à l'interface solide-liquide.

Dans le présent travail, trois modèles cinétiques ont été sélectionnés pour étudier le comportement cinétique des polluants à la surface des adsorbants, à savoir le modèle cinétique pseudo premier ordre, le modèle cinétique pseudo-second ordre et le modèle de diffusion intra-particulaire.

II.7.1. Modèles cinétique de la réaction de surface

II.7.1.a. Le modèle cinétique du pseudo premier ordre

Ce modèle cinétique a été proposé par Lagergren [83] et suppose que la vitesse d'adsorption à un instant t est proportionnelle à la différence entre la quantité adsorbée à l'équilibre et celle à l'instant t selon la relation suivante :

$$\frac{dq}{dt} = k_1(q_e - q_t) \quad \text{II.14}$$

L'intégration de l'équation précédente donne [84, 85] la relation:

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad \text{II.15}$$

Avec:

q_t : Quantité adsorbée à l'instant t en mg/g ;

q_e : Quantité adsorbée à l'équilibre en mg/g ;

k_1 : Constante de vitesse de premier ordre (min^{-1}) ;

La quantité adsorbée à l'équilibre q_e et la constante de vitesse k_1 peuvent être obtenues à partir de la pente et de l'ordonnée à l'origine.

II.7.1.b. Le modèle cinétique du pseudo-second ordre

Ce modèle permet de caractériser la cinétique d'adsorption en admettant une adsorption rapide du soluté sur les sites d'énergie élevée et une adsorption relativement lente sur les sites d'énergie faible.

Le modèle cinétique du pseudo-second ordre est exprimé selon l'équation suivante :

$$\frac{dq}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2 \quad \text{II.16}$$

k_2 : Constante de vitesse du pseudo deuxième ordre ($\text{g.mg}^{-1}.\text{min}^{-1}$).

L'expression suivante démontre la vitesse initiale de sorption h ($\text{mg.g}^{-1}.\text{min}^{-1}$) selon la relation :

$$h = k_2 q_e^2 \quad \text{II.17}$$

La quantité adsorbée q_e et la constante de vitesse k_2 peuvent être déterminées à partir de la pente et de l'ordonnée à l'origine de la courbe t/q en fonction de t .

II.7.1.c. Le modèle d'Elovich

L'équation d'Elovich est applicable à la sorption chimique sur des surfaces de solide énergétiquement hétérogènes, est donnée par [86] :

$$\frac{q_t}{dt} = \alpha \exp(-\beta q_t) \quad \text{II.18}$$

Pour simplifier l'équation d'Elovich, Chien et Clayton [87] ont assumé que $\alpha \beta \gg 1$, et en appliquant les conditions aux limites $q_t = 0$ à $t = 0$ et $q_t = q_t$ à $t = t$, l'équation (I.19) devient alors :

$$q_t = \frac{1}{\beta} \ln(\alpha\beta) + \frac{1}{\beta} \ln(t) \quad \text{II.19}$$

α : vitesse initiale d'adsorption en (mg/g min) ;

β : constante de sorption liée à la surface externe et à l'énergie d'activation de la chimisorption en (g/mg).

II.7.2. Le modèles basé sur la diffusion moléculaire

Le transport des particules d'adsorbat de la phase aqueuse vers la surface de l'adsorbant se produit en plusieurs étapes. Le processus d'adsorption peut être contrôlé par une ou plusieurs étapes, par exemple diffusion externe, diffusion des pores et l'adsorption sur la surface de pore, ou une combinaison de plus qu'un seul processus [88].

II.7.2.a. Le modèle de diffusion intra-particulaire

Le modèle de diffusion intra-particulaire ou le modèle de Weber et Morris suppose que le processus de diffusion est la seule étape limitative qui contrôle l'adsorption [89]. L'expression mathématique de ce modèle est la suivante [90,91] :

$$q_t = K_3 t^{0.5} + C \quad \text{II.20}$$

Avec

K_3 : constante de vitesse de diffusion intra-particulaire.

C : constante.

Les valeurs de k_3 et de la constante C peuvent être déterminées à partir de la pente et de l'ordonnée à l'origine de la courbe de q_t en fonction de $t^{0.5}$. Si le tracé de q_t en fonction de $t^{0.5}$ donne une droite, donc le processus d'adsorption est contrôlé par diffusion intra-particule seulement. Cependant, si les données montrent une allure multilinéaires, alors deux étapes ou plus influencent le processus d'adsorption. Généralement, la courbe de ce modèle présente une multi-linéarité indiquant l'existence de plusieurs étapes. La première tranche est attribuée au phénomène de diffusion à la surface externe du solide (adsorption instantanée). La deuxième partie représente une adsorption contrôlée par le phénomène de diffusion intra-particulaire (adsorption progressive), cette étape est limitante.

II.7.2.b. Le modèle de diffusion dans le film liquide

Le modèle cinétique de diffusion dans le film liquide (couche limite) est donné par l'équation suivante [92]:

$$-\log\left(1-\left(\frac{q_t}{q_e}\right)^2\right) = k t \quad \text{II.21}$$

K_d : constante de vitesse (s^{-1}).

En utilisant cette constante on peut calculer le coefficient de diffusion D (cm^2/s) par la relation suivante :

$$k_d = \frac{4\pi^2 D}{23 d^2} \quad \text{II.22}$$

d est le diamètre moyen des particules (cm).

II.8. Capacité d'adsorption

La concentration de l'adsorbat retenue par l'adsorbant est calculée par la différence entre la concentration du soluté C_0 et la concentration finale du soluté C_e . La quantité du soluté adsorbée à l'équilibre Q_e est donnée par l'équation suivante :

$$Q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m} \quad \text{II.23}$$

Avec :

Q_e : Capacité d'adsorption ($mg.g^{-1}$) ;

C_0 : Concentration initiale de l'adsorbat ($mg.L^{-1}$);

C_e : Concentration du substrat ($mg.L^{-1}$) à l'équilibre ;

V : Volume de la solution (L) ;

m : Masse de l'adsorbant (g).

II.9. CHALEUR D'ADSORPTION

On distingue trois types de chaleurs d'adsorption :

- la chaleur intégrale d'adsorption qui est l'énergie moyenne libérée pour l'adsorption d'une quantité unitaire de soluté.
- la chaleur différentielle d'adsorption q_d qui est l'énergie ramenée à l'unité de masse libérée

par l'adsorption d'une quantité infiniment petite de soluté. Cette chaleur varie avec la quantité de soluté adsorbée.

- la chaleur isothermique q_{st} d'adsorption qui correspond à la variation d'énergie pour un recouvrement constant de la surface de l'adsorbant.

Huckel a montré que la chaleur isothermique d'adsorption qu'il a initialement appelé chaleur isothermale d'adsorption était liée à la chaleur différentielle d'adsorption q_d par la relation :

$$q_{st} = q_d + RT \quad \text{II.24}$$

D'un point de vue pratique, c'est la chaleur différentielle d'adsorption qui a le plus d'intérêt puisque c'est elle que l'on doit prendre en compte pour les calculs des unités d'adsorption. Elle peut être facilement déduite de la connaissance de la chaleur isothermique d'adsorption, qui elle-même peut être facilement évaluée à partir des équilibres d'adsorption. Rappelons que l'isoptère représente la variation de la pression partielle P (ou de la pression relative P/P_0) du soluté en fonction de la température; la quantité de soluté fixée à la surface restant constante.

La loi de Clausius-Clapeyron permet d'écrire :

$$d \ln p_0 / dt = q_{st} / RT^2 \quad \text{II.25}$$

A partir de cette relation on peut déterminer la chaleur isothermique.

Dans le cas d'une réaction d'adsorption des molécules sur une surface, l'énergie de Gibbs ΔG est composée de deux termes, l'enthalpie (H) qui exprime les énergies d'interactions entre les molécules et la surface adsorbante, et l'entropie (S) qui exprime la modification et l'arrangement des molécules dans la phase liquide et sur la surface d'adsorbant. L'importance relative des deux termes dépend du système adsorbat -adsorbant envisagé.

Un système thermodynamique évolue toujours spontanément vers un niveau énergétique le plus bas. L'expression de l'énergie libre est donnée par la relation suivante :

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad \text{II.26}$$

- ΔH ($\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$) : variation d'enthalpie ;
- ΔS ($\text{J}\cdot\text{mol}^{-1} \text{K}^{-1}$) : variation d'entropie.

D'une façon générale, le phénomène d'adsorption est toujours accompagné d'un processus thermique qui peut être soit exothermique ($\Delta H < 0$) ou endothermique ($\Delta H > 0$). La mesure de la chaleur d'adsorption ΔH est le principal critère qui permet de différencier la chimisorption de la physisorption.

Chapitre 999

*Essais d'adsorption du bleu
de méthylène sur la sciure de
bois*

Chapitre III : Essais d'adsorption du bleu de méthylène sur la sciure de bois

L'efficacité de l'adsorption pour éliminer les colorants des rejets textiles a fait de cette technique une méthode de choix par rapport aux autres méthodes de traitement des eaux colorées. Elle est d'autant plus intéressante lorsque l'adsorbant est abondant et peu coûteux, tel est le cas de la sciure de bois. Pour notre cas, nous nous sommes focalisés à l'évaluation de la capacité d'adsorption de la sciure de bois pour éliminer le « bleu de méthylène », un colorant utilisable dans de nombreux secteurs industriels, caractérisé par sa couleur bleu et son effet basique [93].

Notre objectif majeur consiste à étudier tout d'abord l'élimination de ce colorant par adsorption sur la sciure de bois, tous les essais ont été réalisés au Laboratoire de Technologie et génie des procédés l'université Abderrahmane Mira Bejaia sur deux échantillons de sciure de bois à l'état brut (SBB) et à l'état traité (SBT), En suite l'étude cinétique a été réalisée de façon à déterminer les temps nécessaires pour atteindre l'équilibre d'adsorption. Enfin, les propriétés d'adsorption à l'équilibre ont été étudiées à partir de l'élaboration d'isothermes d'adsorption à température fixe pour les deux échantillons utilisés afin de déterminer leur capacité de fixation. L'influence de pH a été abordée et la température également de façon plus fine par une approche thermodynamique [94].

III.1. La préparation des échantillons

III.1.1. Préparation de la sciure de bois (adsorbant)

La sciure de bois est récupérée en général dans les rejets des menuiseries dans l'industrie de fabrication de meubles de maisons ou ébénisterie. Elle est composée essentiellement de cellulose, de polysaccharides et de lignine [95].

La sciure de bois utilisée dans cette étude a été préparée selon le mode opératoire suivant :

a) Lavage et séchage

La sciure de bois utilisée dans ce travail a été obtenue auprès des menuiseries de Bejaia. Elle a été lavée avec de l'eau distillée à 80°C sous une agitation pendant 30 min pour éliminer les impuretés, suivie d'une séparation de la solution. Ensuite, sécher à l'air libre avant de la mettre dans une étuve à 105°C pendant 24h, les étapes de cette opération sont représentées dans les figures I.1 et I.2.



Figure III.1 : lavage de SB



Figure III.2 : séchage de SB à l'air libre

b) Broyage et tamisage

Le matériau obtenu après séchage a été broyé à l'aide d'un broyeur à disque et tamisé afin de récupérer la fraction inférieure à 250 μm (figure III.3).



Figure III.3 : sciure de bois après broyage et tamisage à l'état brute

III.1.2. Traitement chimique de l'adsorbant

Une quantité de SB a subi un traitement chimique selon les étapes suivantes :

- ❖ Mettre 30 g de SB dans 250 ml d'eau distillée sous agitation pendant 30 min.
- ❖ Préparer un bain d'eau et maintenir la température à 60°C.
- ❖ Rajouter 30 g de KOH au mélange puis le verser dans un ballon à chauffage à reflux posé dans le bain d'eau pendant 3h.
- ❖ Séparer la SB de la solution par filtration sous vide.
- ❖ Laver la SB récupérée avec de l'eau distillée jusqu'à l'obtention d'un pH neutre.
- ❖ Sécher à 105°C pendant 24h.

III.1.3. Les principales caractéristiques de la sciure de bois

La composition chimique de sciure de bois montrée dans le tableau III.1 qu'elle est constituées [96] :

Tableau III.1 : les caractéristiques de sciure de bois

substances non saccharidiques	les lignines	Les substances saccharidiques	Les polysaccharides	la cellulose
5 %	20-25 %	environ 1 %	30-35 %	40 %

III.2. Caractérisation de la sciure de bois

Les échantillons préparés, ont été caractérisés par plusieurs techniques telles d'analyses physico-chimiques afin de déterminer (la densité réelle, masse volumique apparente, le volume poreux total, le taux d'humidité et la mesure de pH) et la Spectroscopie Infra Rouge à Transformée de Fourier (IRTF).

III.2.1 Analyses physico-chimiques de SB

1. La densité réelle (masse volumique réelle)

Les masses volumiques réelle et apparente, permettent de déterminer le volume poreux total. Le mode opératoire consiste en premier lieu à sécher la SBB et la SBT à l'étuve à une température de 105°C pendant 24 heures. On y prélève ensuite 1g, que l'on met dans un pycnomètre de volume 5 ml que l'on remplit avec du méthanol jusqu'au trait de jauge. La masse de l'adsorbant à l'état brut et traité et le volume de méthanol utilisé, permettent de calculer la masse volumique réelle, selon la relation suivante :

$$\rho_{réelle} = \frac{m}{V_{réel}} \quad \text{III.1}$$

Avec :

$\rho_{réelle}$ (g/ml) : Masse volumique réelle.

m (g) : Masse de l'adsorbant.

$V_{réel}$ (ml) : Volume réel

Ou :

$$V_{réel} = V_p - V_m \quad \text{III.2}$$

Avec :

V_m (ml) : Volume de méthanol.

V_p (ml) : Volume du pycnomètre.

2. La masse volumique apparente

Pour déterminer la masse volumique apparente, on introduit dans une éprouvette, une quantité de sciure de bois correspondant à un volume apparent donné. La connaissance de la masse de l'échantillon (m_{SB}) et du volume apparent (V_{app}) nous permet d'avoir la masse volumique apparente selon la relation suivante :

$$\rho_{app} = \frac{m_{SB}}{V_{app}} \quad \text{III.3}$$

Où : V_{app} : volume apparent de SB (en ml)

m_{SB} : masse de SB (en g)

3. Le volume poreux total (V.P.T) :

Le volume poreux totale est calculé à partir l'expression suivante :

$$V.P.T = \frac{1}{\rho_{app}} - \frac{1}{\rho_{réelle}} \left(\text{en } \frac{\text{cm}^3}{\text{g}} \right) \quad \text{III.4}$$

4. Le taux d'humidité :

La teneur en eau est importante car elle affecte la capacité d'adsorption ; l'efficacité d'adsorption diminue au fur et à mesure que la teneur en eau augmente.

Afin d'accéder à la teneur en eau dans la SB, on pèse le creuset vide après lavage et séchage (m_1). On y introduit un échantillon de 2g de SB et on le pèse (m_2), ensuite on met l'ensemble dans une étuve à 110°C pendant 24 heures. A la sortie, on place l'ensemble dans un dessiccateur pendant 30 minutes puis on le pèse (m_3).

Enfin, on calcul le taux d'humidité selon l'équation suivante :

$$H = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} * 100 \quad \text{III.5}$$

Où :
 m_1 : masse du creuset vide et sec (en g)
 m_2 : masse du creuset et de SB avant étuvage (en g)
 m_3 : masse du creuset et du SB après étuvage et refroidissement (en g).

5. La mesure du pH

Ce paramètre affecte le caractère acido-basique ou neutre de la solution, pour déterminer le pH des adsorbants. On introduit dans des différents ballons de 100 ml d'eau distillée et une masse de 1g de chaque adsorbant (brute et le traité chimiquement), après avoir préparé un bain d'eau ou les suspensions ont été maintenues en agitation constante et à température d'eau à 60°C. Ensuite, on a procédé à un chauffage à reflux pendant 3h, les résultats sont rapportés dans le tableau III.2 suivant.

Tableau III.2 : Caractéristiques physico-chimique de la sciure de bois

Caractéristiques	Matériau brute	Matériau après traitement
Densité réelle	2.56	2.98
Masse volumique apparente (g/mL)	1	2
Volume poreux	0.61	0.16
Taux d'humidité (%)	12	8
pH	4.95	5.71

III.2.2. Analyses spectrales infra-rouge

La spectroscopie infrarouge est un outil d'étude très utile qui permet d'analyser surtout qualitativement les molécules, en mettant en évidence la présence de liaisons entre les atomes. Son principe consiste à envoyer un faisceau de radiations infrarouges sur le matériau à analyser, et l'enregistrement des spectres d'absorption sur les deux adsorbants étudiés permet d'obtenir de nombreuses informations sur les propriétés de surface (la nature de leurs groupements

chimiques fonctionnels de surface), et les phénomènes d'adsorption, c'est-à-dire leurs interactions avec les molécules de BM, dans notre cas les spectre infra-rouge obtenues sont rapportés dans la figure III.4

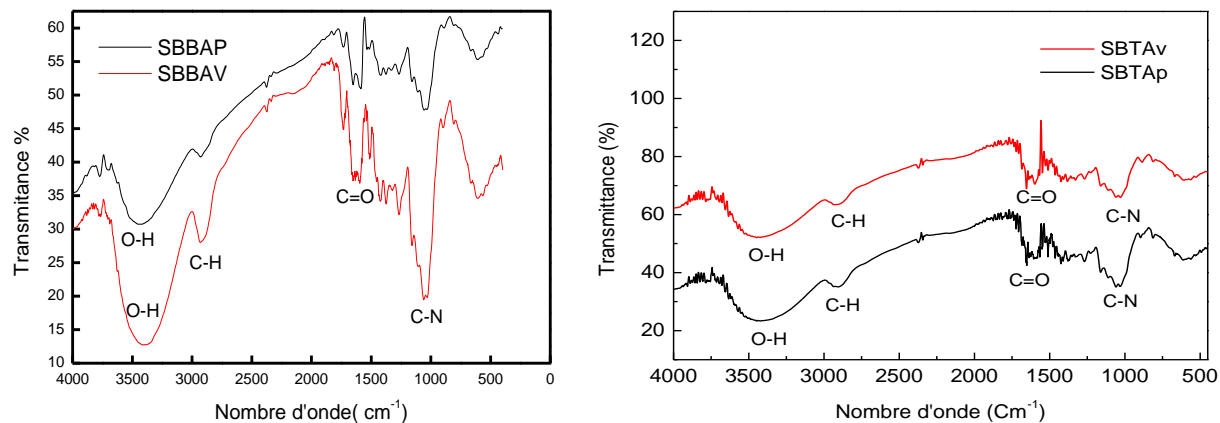


Figure III.4 : spectre infra-rouge de la SBB

D'après le spectre IRTF de l'échantillon de SBB avant l'adsorption, la bande observée entre 3400-3300 cm^{-1} est attribuée à la vibration d'élongation du groupement OH des liaisons hydrogène des alcools et des phénols [97]. Les deux bandes obtenues entre 2855 et 3000 confirment la présence des groupes méthyl ; elles sont attribuées aux élongations symétriques et asymétriques (C-H) des chaînes aliphatiques. Ces bandes peuvent être également attribuées à la présence d'un acide et d'un aldéhyde. Une bande d'intensité moyenne est observée entre 1825 et 1780 cm^{-1} correspond à l'élongation du groupe C=O du groupe carbonyle des aldéhydes, des cétones, des lactones, des acides aliphatiques, et des esters aliphatiques [97]. En outre, la bande fine observée entre 1145-1040 cm^{-1} est attribuée à la vibration d'élongation du groupe C-N des amines aliphatiques.

Cependant, le spectre IRTF de l'échantillon de SBB après adsorption a montré un décalage de nombre d'ondes de quelques bandes de groupements fonctionnels ainsi que leurs intensités à savoir OH, C=O et C-N. Cette différence est due à la mise en jeu de ces groupements dans le mécanisme d'adsorption du bleu de méthylène par l'échantillon de SBB.

L'examen du spectre infra rouge (figure III.4) de la sciure de bois traité avant et après adsorption révèle une bande observée à 1702 cm^{-1} présente dans les deux spectres avant et

après adsorption est correspond à l'élongation du groupe C=O des groupements carbonyles des fonctions aldéhydes, acides carboxyliques, et esters présents dans la lignine [97].

Les deux bandes d'adsorption apparues à 2919 et 2851 cm^{-1} sont principalement due à la vibration d'élongation C-H des chaines aliphatiques

De plus la bande centré à 3367 cm^{-1} représente la bande d'élongation OH des groupes terminaux alcool, cette bande est intense et large dans le spectre infra-rouge

En outre, la bande fine 1026.5 cm^{-1} est attribuée à la vibration d'élongation du groupe C-N des amines aliphatiques.

III.3. Caractérisation de bleu de méthylène

III.3.1. Préparation de solution mère de bleu de méthylène

Pour préparer la solution mère en colorant, d'un volume de 1000 mL et de concentration $C_0=100$ mg/l, nous avons pris 100 mg de bleu de méthylène (BM) et nous l'avons dilué avec l'eau distillée jusqu'à 1 litre dans une fiole jaugée. Ensuite nous avons effectué l'agitation à l'aide d'un agitateur magnétique pendant 1h pour avoir une solution homogène (figure III.5).



Figure III.5 : solution mère de bleu de méthylène

III.3.2. Préparation des solutions diluées

A partir de la solution mère déjà préparée, les volumes suivants ont été prélevés de cette dernière en mL (0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3 et 3.5) et chaque volume de la solution est dilué jusqu'à

50 mL pour obtenir des concentrations connues (figure III.6). L'équation de dilution suivante a été utilisée:

$$C_1.V_1=C_2.V_2 \quad \text{III.6}$$

C_1 : concentration de la solution mère (mg/l)

C_2 : concentration de la solution fille (mg/l)

V_1 : volume de la solution mère a prélevé

V_2 : volume de la solution fille

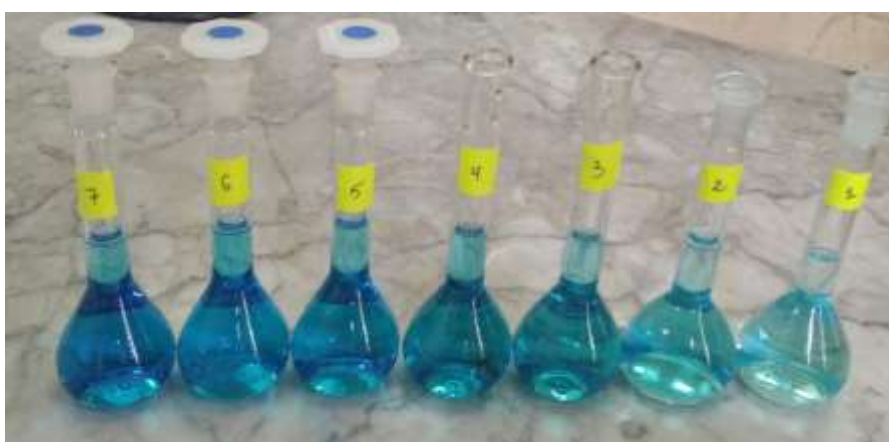


Figure III.6 : les différentes dilutions préparées de la solution de BM

III.3.3. Analyses par spectrophotométrie UV-visible

Le spectrophotomètre utilisé est un spectrophotomètre à mono faisceau de marque UV min-1240 SHIMADZU. Il permet de doser les molécules présentes en solution qui sont capables d'absorber des photons dans la gamme de longueurs d'onde 400nm-800nm [98].

L'absorbance (A) de la solution a été calculée à partir de la loi de Beer Lambert exprimée par la relation suivante :

$$A_\lambda = \log I_0/I = \epsilon.C.l \quad \text{III.7}$$

Ou :

A : absorbance de la solution pour une longueur d'onde λ ;

ϵ : Coefficient d'absorbance ($l \text{ mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$), il dépend de la longueur d'onde, la nature chimique de l'entité et la température ;

I_0 : Intensité du faisceau incident ;

I : Intensité transmise du faisceau traversant l'échantillon.

III.3.4. Détermination de la longueur d'onde

La figure III.7 représente le spectre d'absorption du bleu de méthylène (BM) en solution aqueuse. D'après cette figure, on peut déterminer la longueur d'onde maximale pour effectuer le dosage, il s'agit habituellement de la longueur d'onde pour laquelle le polluant représente un maximum d'absorption. Il est à noter que le BM représente un maximum d'absorption à $\lambda_{\max} = 663 \text{ nm}$.

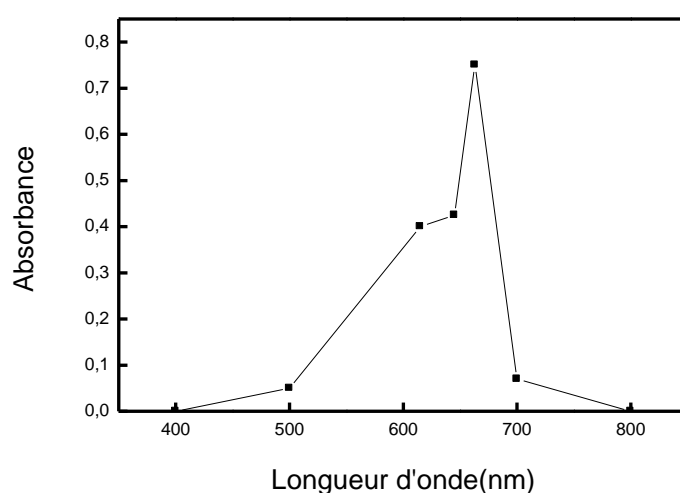


Figure III.7 : Courbe de détermination de λ_{\max} de BM.

III.3.5. Etalonnage du colorant

La spectrophotométrie UV-visible est la méthode la plus facile. Elle est une méthode analytique quantitative qui consiste à mesurer l'absorbance ou la densité optique d'une substance chimique donnée en solution. Pour calculer la concentration de BM restante après l'adsorption, on utilise la courbe d'étalonnage, on commence par établir une droite d'étalonnage ($\text{Absorbance} = f(C)$) à partir de la solution de concentrations connues de composé à doser pour un pH normal. Après l'adsorption on mesure l'absorbance de la solution, et à partir de la courbe on exploite sa concentration.

Les solutions diluées ont été analysées par le spectrophotomètre UV-visible à une longueur d'onde $\lambda_{\max} = 663 \text{ nm}$

Les résultats obtenus sont représentés sur la figure III.8.

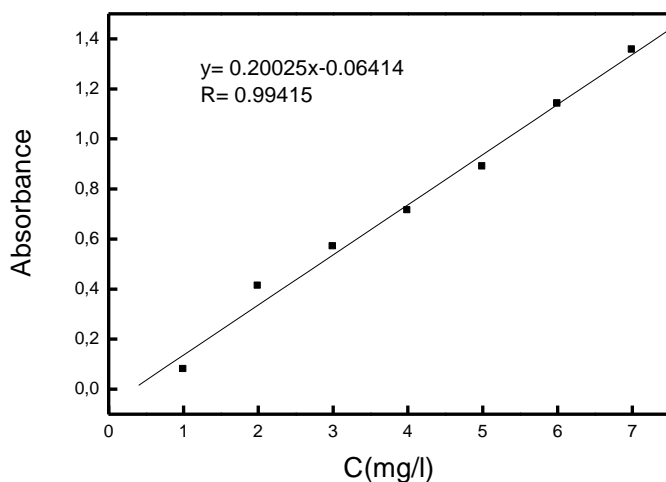


Figure III.8: Courbe d'étalonnage de bleu de méthylène

III.4. Tests d'adsorption du bleu de méthylène sur la sciure de bois

III.4.1. Les paramètres influençant sur le procédé d'adsorption

Le procédé d'adsorption du bleu de méthylène sur la SB peut être influencé par divers paramètres à savoir ; le pH, la température, la concentration de l'adsorbant et la masse de l'adsorbant.

a. Influence du temps de contact d'adsorption BM sur la sciure de bois

L'étude de l'adsorption d'un composé sur un adsorbant nous permet d'examiner l'influence du temps de contact sur sa rétention. Cette étude a été menée de manière à déterminer la durée nécessaire pour obtenir l'équilibre d'adsorption du polluant sciure bleu de méthylène sur la sciure de bois à différentes concentrations et de déterminer la relation entre la concentration initiale de la solution mère et la quantité adsorbée du bleu de méthylène.

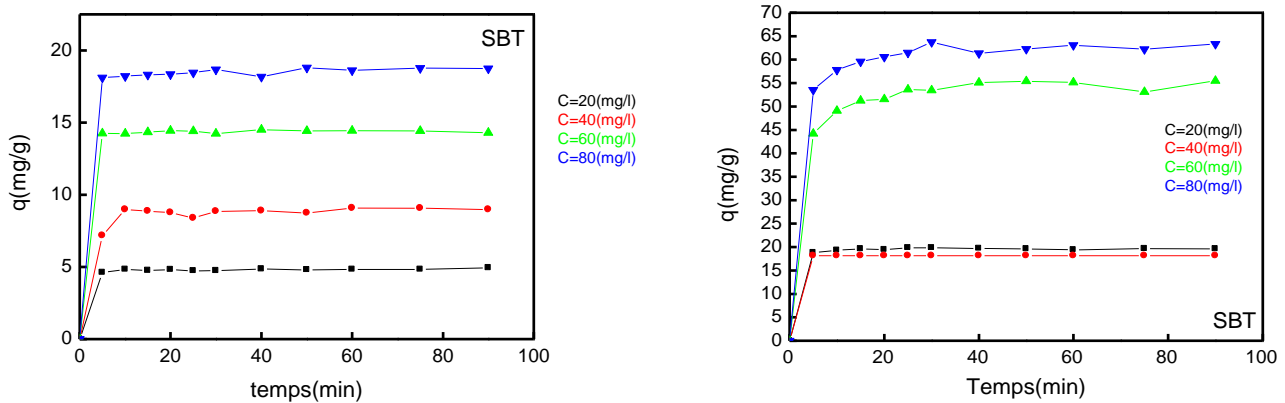


Figure III.9 : Effet du temps de contact et la concentration initiale sur l'adsorption BM/SB.

L'augmentation de la concentration initiale en colorant, entraîne une augmentation de sa quantité adsorbée sur la surface des différents adsorbants utilisés. Dans ce cas, les résultats obtenus semblent indiquer que si la concentration initiale du bleu de méthylène dans la solution est faible, ils s'adsorbent uniquement en surface pour former une monocouche pendant un temps très court [99]. Par contre lorsque la concentration initiale est élevée, il y a en conséquence plus de molécules qui vont diffuser vers la surface des sites des particules des adsorbants que par conséquent la rétention devient plus importante [99].

Il est à noter que le temps d'équilibre est presque identique pour toutes les cinétiques réalisées, il varie entre 10 et 30 min pour toutes les concentrations étudiées. Pour cela, le temps d'équilibre fixé pour l'étude des paramètres restants est de 30 mn.

b. Influence de la masse de l'adsorbant

L'un des paramètres qui affecte fortement la capacité d'adsorption est la quantité d'adsorbant présente dans la phase liquide, car elle détermine la capacité d'adsorbant pour une concentration initiale donnée de solution de colorant. [100]

L'effet de la masse d'adsorbant sur la quantité de colorant adsorbée et sur le taux d'élimination a été étudié à 25 °C en mettant en contact 50 ml d'une solution de colorant de concentration $40 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ avec différentes doses d'adsorbant brute (de 0.1 à 0.4 g) et l'adsorbant traité (0.025 à 0.2g). Après l'équilibre, le liquide surnageant a été séparé de l'adsorbant par centrifugation à 3000 tr/m pendant 4 min et son absorbance a été mesurée pour déterminer la concentration résiduelle du BM. Les résultats obtenus nous ont permis de tracer la courbe représentée sur la Figure III.10 donnant la variation de la de la quantité de BM adsorbée en fonction de la masse de la sciure de bois ajoutée.

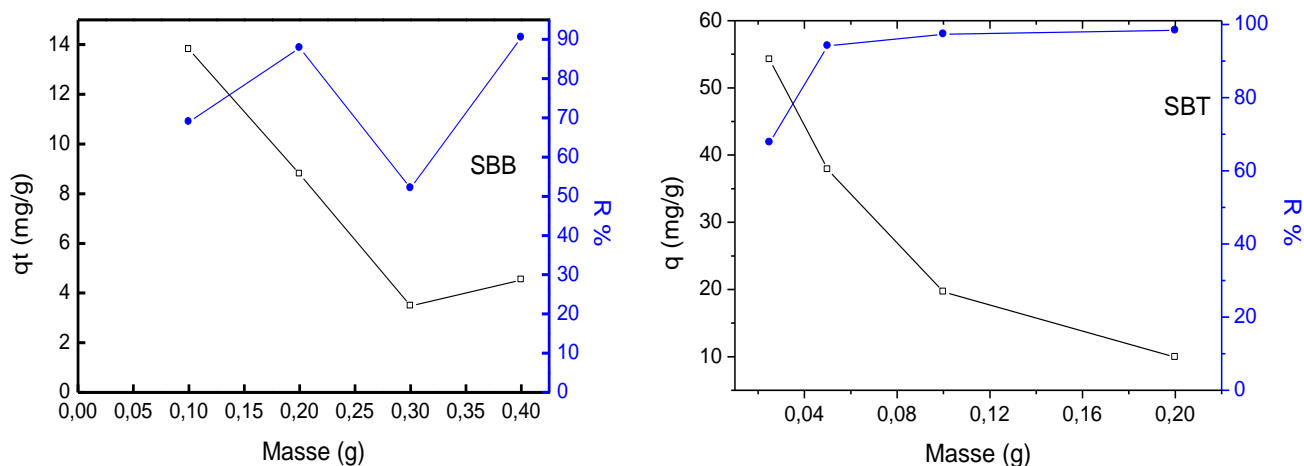


Figure III.10 : Influence de la masse sur l'adsorption du BM sur l'adsorbant et le rendement d'élimination.

La figure III.10 montre l'influence de la masse de SB sur la capacité d'adsorption du colorant. On constate que les quantités adsorbées sont anti-proportionnelles à leurs masses de substrat. Cela peut être expliqué par l'agglomération des particules des adsorbants ce qui a réduit leur surface spécifiques. La masse optimale pour l'élimination du BM par la SBB et SBT est de 0.2 et 0.1 g, respectivement.

c. Influence de la température

L'influence de la température sur le procédé d'adsorption du colorant est étudiée en maintenant la température à la valeur désirée à l'aide d'un bain-marie. La gamme de température exploitée

varie de 25° C à 40°C (figure III.11). Les autres conditions opératoires sont maintenues fixées comme suit :

Concentration = 40 mg/l

Masse d'adsorbant brute = 0.2 g

Masse d'adsorbant traité = 0.1 g

Volume de la solution de BM = 50 ml

pH de l'eau distillée

Vitesse d'agitation = 300 tr/min

Temps d'équilibre = 30 min

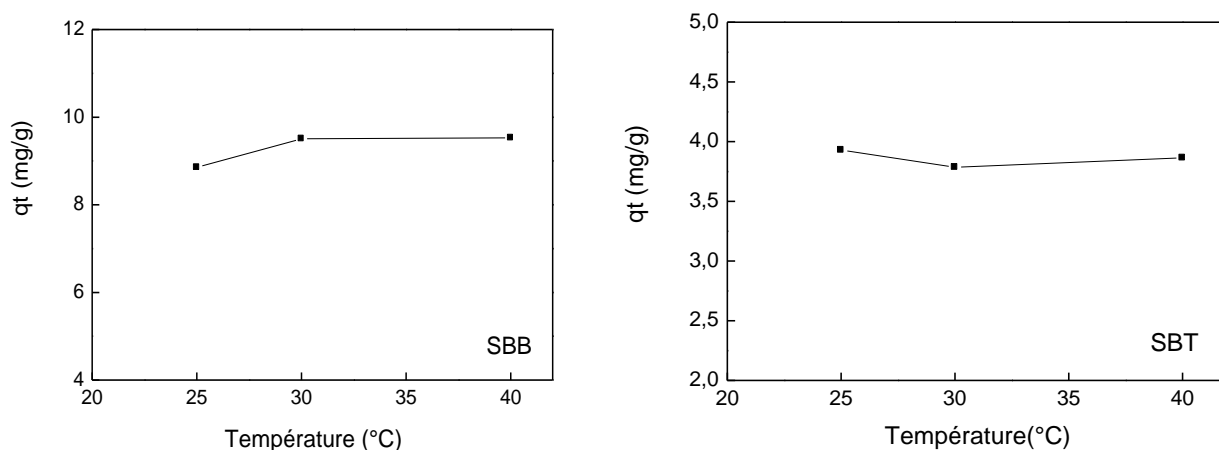


Figure III.11 : Effet de la température sur l'adsorption du système BM/SB.

D'après la figure III.11 on constate que la température de la solution ne marque pas une influence remarquable sur l'adsorption de BM par la sciure de bois dans le cas du matériau à l'état brute et après le traitement chimique.

d. Influence de pH

Le pH joue un rôle primordial dans l'étude des phénomènes d'adsorption des colorants sur des substrats minéraux, le potentiel de charges de surface des adsorbants, le comportement de l'adsorbat (degré d'ionisation du bleu de méthylène) et le mécanisme d'interaction entre ce colorant et l'adsorbant utilisés changent selon le pH de la solution.

L'effet du pH a été étudié en utilisant un pH-mètre et des masses SBB et SBT de 0.2 et 0,1g, respectivement ont été mélangés avec des volumes 50 mL de solutions de bleu de méthylène

de 40 mg/l, dans des béchers de 250 ml. Le pH des solutions a été ajusté avec les valeurs suivantes : 2, 4, 6, et 8 ± 0.1 en ajoutant soit quelques gouttes de solutions concentrées de HCl ou de NaOH 0,5 M (figure III.12). Les mélanges ont été ensuite agités pendant 30 minutes, à 25 °C. Les concentrations résiduelles du colorant ont été déterminées par spectrophotométrie UV-Visible à une longueur d'onde $\lambda_{\max} = 663$ nm.

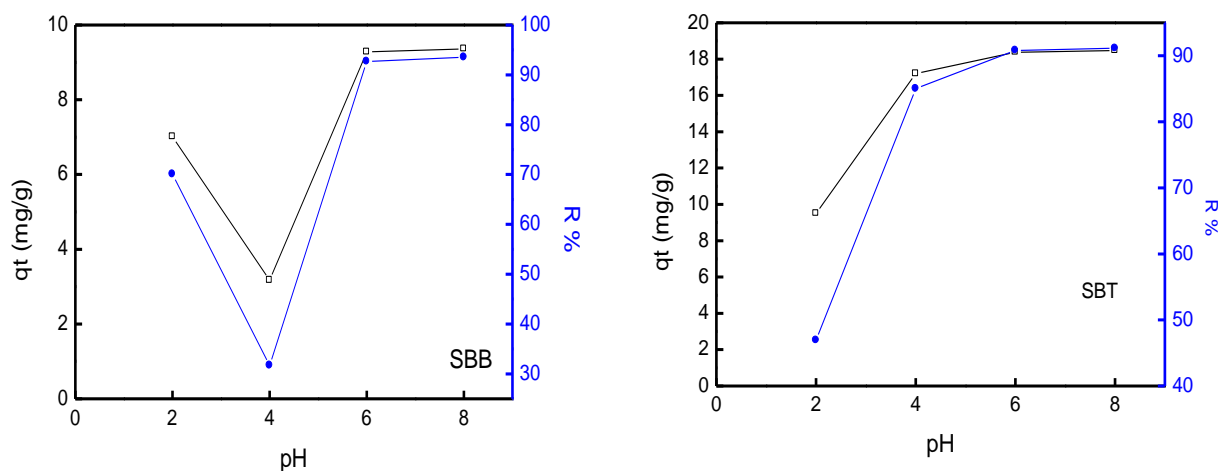


Figure III.12 : Effet de pH sur l'adsorption du bleu de méthylène sur la SB

L'analyse de la figure III.12, montre que la capacité d'adsorption de l'adsorbant utilisé dépend du pH de la solution. Le pH de l'échantillon SBB est de 4.95 ; supérieur à ce pH la surface est chargée négativement ce qui explique la capacité importante observée en raison des liaisons d'attraction. Tandis qu'à pH inférieur à 4.95, la surface est chargée positivement expliquant la faible adsorption due aux interactions de répulsion. En outre, le pH de l'échantillon de SBT est de 5, 71, les mêmes observations ont été faites comparant à celles du matériau SBB, soient supérieur ou inférieur à ce pH. En plus des réactions électrostatiques, l'adsorbant se fixe sur la surface de l'adsorbant grâce aux liaisons de Van der Waals. [101]

III.5. Modélisation de l'adsorption du BM par la SB

L'étude de la cinétique d'adsorption permet de déterminer d'une part, les constantes de vitesse d'adsorption et d'autre part, l'ordre de la réaction de surface. Cette étude est nécessaire pour tenter de mieux comprendre les mécanismes régissant l'adsorption.

Trois modèles ont été appliqués pour décrire le mécanisme de la cinétique d'adsorption du BM par la sciure de bois : le pseudo-premier ordre, le pseudo-second ordre et la diffusion intra-particulaire.

III.5.1 La Cinétique de premier ordre

Ce modèle est exprimé par l'équation suivante

$$\ln(q_t - q_e) = \ln q_e - kt \quad \text{III.8}$$

Avec :

q_e : Quantité de colorant adsorbée par unité de masse d'adsorbant à l'équilibre (mg/g)

q_t : Quantité de colorant adsorbée par unité de masse d'adsorbant à l'équilibre à t (mg/g)

La cinétique d'adsorption de premier ordre est réalisée par le tracé de la courbe $\ln(q_e - q_t)$ en fonction du temps. Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau III.4 et la figure III.13 suivants :

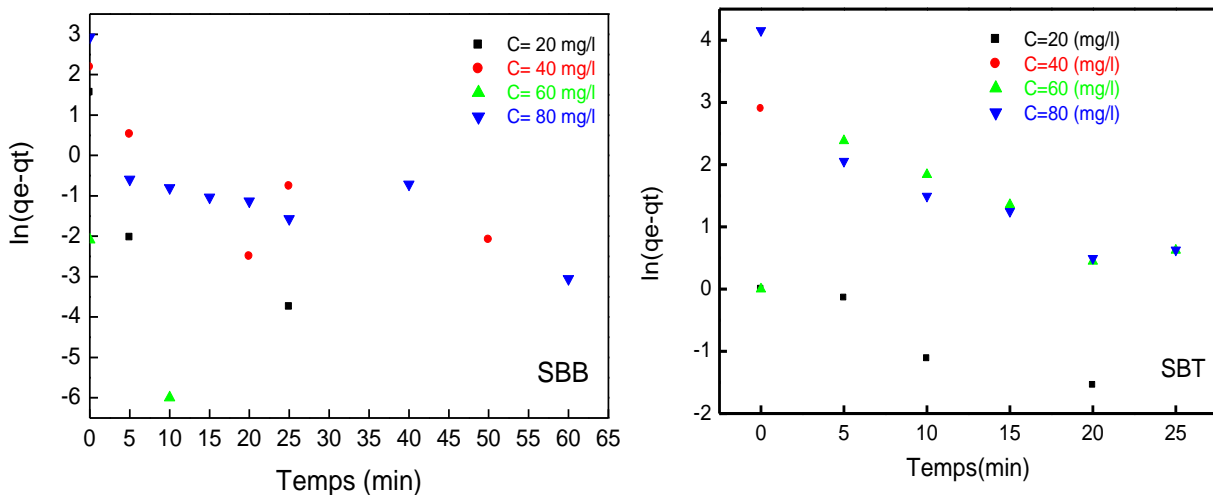


Figure III.13 : Présentation du modèle cinétique pseudo premier-ordre de l'adsorption de BM sur SB

D'après la figure III.13, nous remarquons que le modèle pseudo premier ordre n'est pas adapté pour la cinétique de cette adsorption.

III.5.2 La Cinétique de deuxième ordre

Ce modèle est représenté par l'équation suivante :

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k \cdot q_e} + \frac{t}{q_e} \quad \text{III.9}$$

Les paramètres de la cinétique d'adsorption du second ordre sont déterminés à partir de la représentation linéaire de t/q_t en fonction du temps (figure III.14). Les valeurs des paramètres sont regroupées dans le tableau III.5. Ce modèle est représenté par la formule suivante

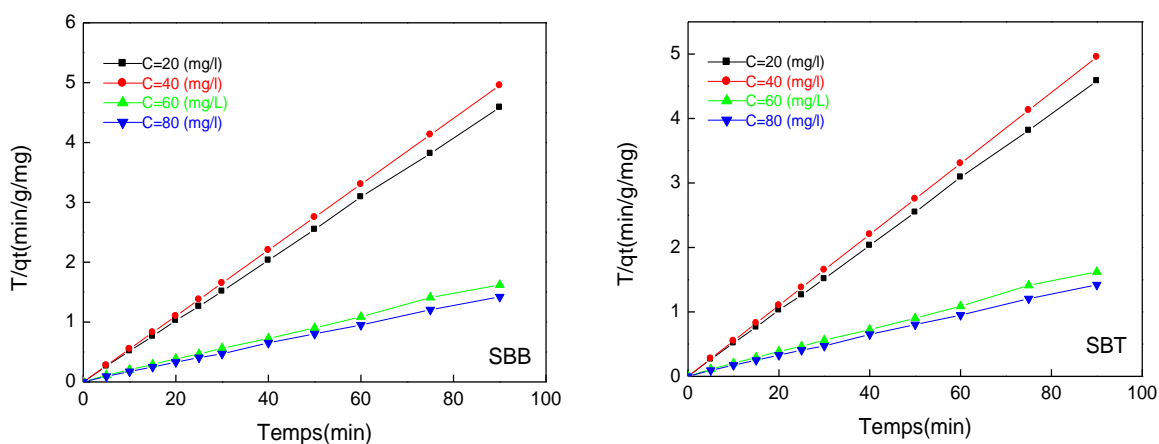


Figure III.14 : Présentation du modèle cinétique pseudo second-ordre de l'adsorption de BM sur SB.

D'après la courbe de la figure III.14 on observe que l'ensemble des points sont droites, les pentes des droites nous ont permis de déduire les constantes de vitesses k_2 du modèle cinétique de second-ordre. Les résultats obtenus sont représentés dans les tableaux III.4, III.5.

Tableau III.3 : Constante de vitesse k_2 et la quantité adsorbée à l'équilibre (q_e) de BM sur SBB

C_0 (mg/l)	q_c	q_e	K_2	R^2
20	4,8979	4,7484	0,0432	0,9998
40	9,0761	8,9424	0,1468	0,9996
60	14,3761	14,234	0,1498	0,9999
80	18,7935	18,672	0,1545	0,0695

Tableau III.4 : Constante de vitesse k_2 et la quantité adsorbée à l'équilibre (q_e) de BM sur SBT

C_0 (mg/l)	q_c	q_e	K_2	R^2
20	19,6233	19,8231	1,5187	0,9999
40	18,1653	19,4371	1,4264	1
60	55,4017	53,6314	0,0199	0,9994
80	63,4115	61,4724	0,0220	0,9998

D'après ces résultats obtenus on remarque que les coefficients de corrélation sont très proches de 1. De même les valeurs des capacités d'adsorption calculées ($q_{e,cal}$) à partir du modèle du pseudo second ordre sont voisines des valeurs expérimentales ($q_{e,exp}$) et les erreurs relatives sont faibles. Par conséquent, nous pouvons conclure que la cinétique d'adsorption de BM sur la SB suit le modèle de pseudo-second ordre.

III.5.3. Le Modèle de diffusion interne ou intra-particulaire

Le modèle de diffusion intra-particulaire a été également appliqué aux résultats expérimentaux. Il s'agit de tracer q_t en fonction de $t^{0.5}$. Nos résultats sont représentés sur la figure III.15

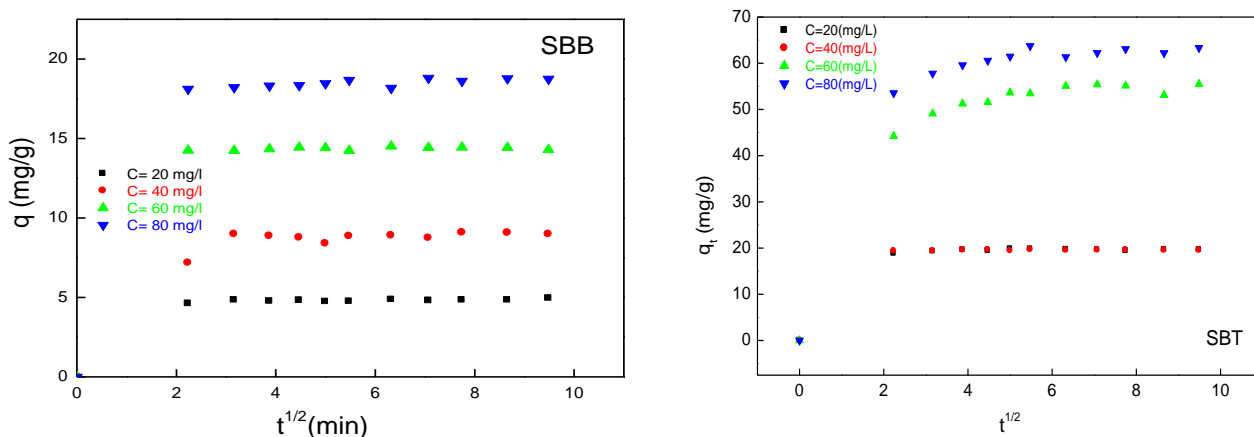


Figure III.15 : Représentation graphique selon le modèle de diffusion interne et intra pour les différentes concentrations en BM.

De la figure III.15, on conclue que l'adsorption du BM par SBB est régie par la diffusion intermoléculaire parce que les spectres montrent un seul segment de droite. Tandis que l'adsorption du BM par la SBT suit la diffusion intermoléculaire et intramoléculaire car les courbes tracées présentent deux segments de droite.

III.6. Etude des isothermes d'adsorption

Les isothermes d'adsorption jouent un rôle important dans la détermination des capacités maximales et dans l'identification du type d'adsorption devant se produire pour un système adsorbat-adsorbant donné [102].

Elles sont obtenues à partir d'une représentation graphique de q_t en fonction de C_e , qui sont respectivement la quantité d'adsorbant fixée et sa concentration à l'équilibre. Les essais d'adsorption réalisés ont été effectués dans les conditions opératoires suivantes : Vitesse d'agitation 3000 trs/min, masse de SB brute 0,2 g et SB traité chimiquement 0.1 g, volume de la solution de BM 50 ml, température du milieu réactionnel 25°C et pH=6,12 ; les résultats des isothermes du système BM/SB sont illustrés dans la figure III.16.

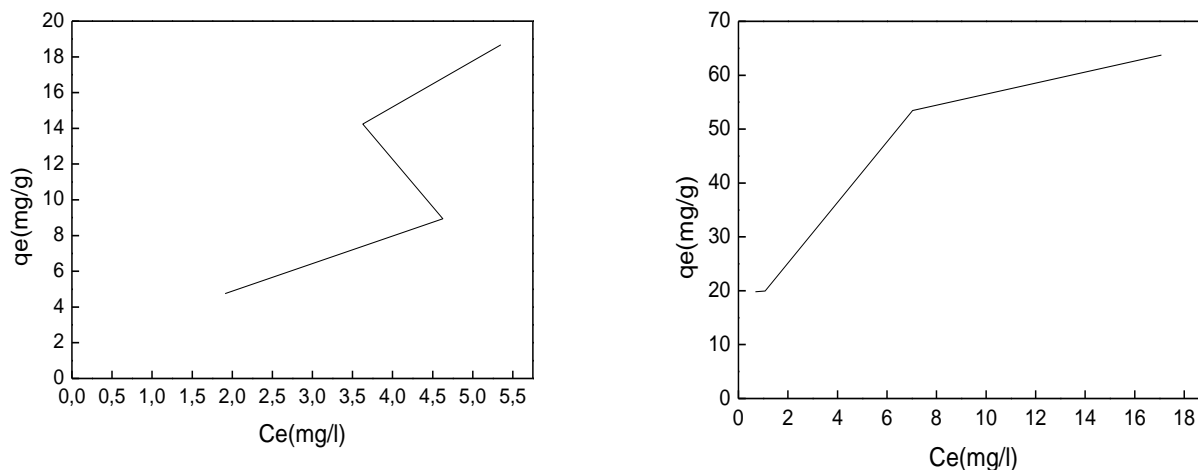


Figure III.16 : Isothermes d'adsorption du BM/SB (brut et traité)

La classification de Gilles met l'adsorption de BM par SBB et par SBT dans la classe de l'isotherme de type S et L, respectivement. [103]

III.6.1. Modélisation des isothermes d'adsorption

Nous traitons dans cette partie la modélisation des isothermes d'adsorption du bleu de méthylène sur la sciure de bois, par les modèles de Langmuir et de Freundlich.

III.6.1.1. Le Modèle de Langmuir

La modélisation des résultats expérimentaux par le modèle de Langmuir, exploitée sous sa forme linéaire ($C_e/q_e = f(C_e)$) est représentée sur la figure III.17.

Le tracé de la transformée de Langmuir montre une bonne linéarité dont la pente et l'ordonnée à l'origine permettent de déterminer respectivement K_1 . Les résultats ainsi que le coefficient de corrélation sont rapportés dans le tableau III.5.

La valeur du coefficient de corrélation 0,998 montre que l'adsorption obéit au modèle de Langmuir.

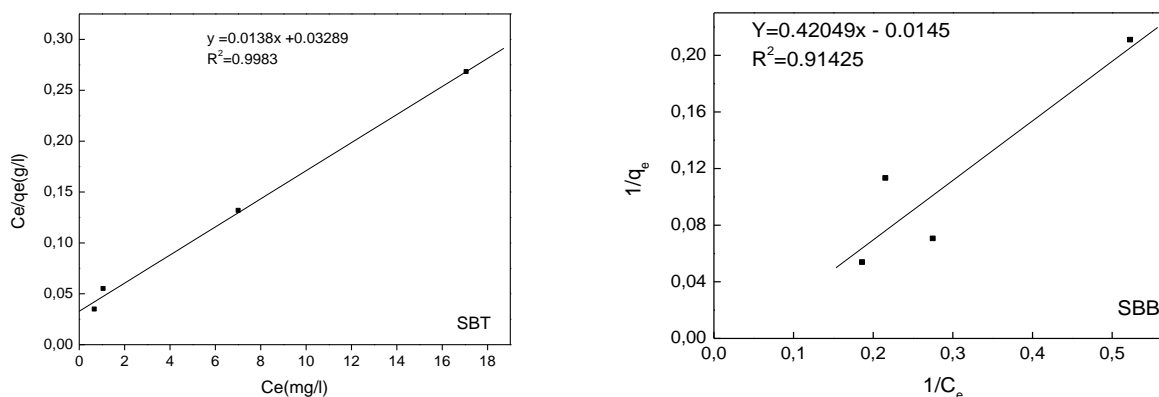


Figure III.17 : Modélisation des résultats expérimentaux par le modèle de Langmuir.

III.6.1.2. Le Modèle de Freundlich

La courbe de la figure III.18 en portant C_e/q_T en fonction de C_e n'est pas linéaire pas, par conséquent, l'adsorption du BM par le SB n'obéit pas au modèle de Freundlich.

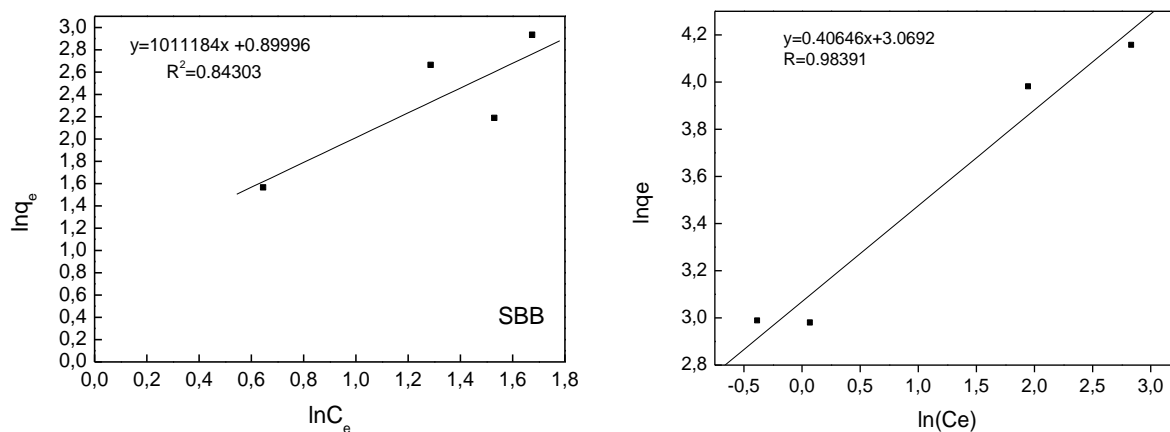


Figure III.18 : Modélisation des résultats expérimentaux par le modèle de Freundlich

D'après les figures III.17 et III.18 et le tableau (III.6), on constate que l'adsorption de BM par la SBB et la SBT suit le modèle Langmuir avec une capacité d'adsorption maximale de $q_m = 68.9655$ mg/g et $q_m = 30.4043$ mg/g, respectivement.

Tableau III.5 : Valeurs des constantes des isothermes Langmuir et Freundlich.

isotherme	paramètres	SBB	SBT
Langmuir	R ²	0,91425	0,9983
	K _L	7,4512.10 ⁻³	2,2150
	q _m	30,404368	68,9655
Freundlich	R ²	0,84303	0,98391
	K _F	3,0399	1,5015
	1/n	0,5874	41,8869

III.VII. Etude thermodynamique

Cette étude est effectuée dans le but d'approfondir notre étude d'un point de vue thermodynamique. Elle permet de calculer les paramètres thermodynamiques tels que : l'entropie (ΔS), l'enthalpie (ΔH) et l'enthalpie libre (ΔG). Celles-ci nous renseignent sur le degré de désordre à l'interface solide-liquide (ΔS), sur l'exothermicité ou l'endothermicité du processus d'adsorption (ΔH) et elles permettent de préciser la spontanéité du processus (ΔG).

Les paramètres thermodynamiques mettant en évidence l'influence de la température sont déterminés à partir des relations mettant en jeu le coefficient de distribution.

Le coefficient de distribution K_d est défini comme étant le rapport des quantités fixées (mg) par gramme de solide sur la quantité de soluté restante (mg) par litre de solution.

Il est donné par la relation suivante [104]

$$K_d = \frac{q_e}{C_e} \quad \text{III.10}$$

Avec :

C_e : concentration de la substance en solution à l'équilibre (mg/l)

Q_e : quantité de l'adsorbant par unité de masse de solide à l'équilibre (mg/g). Elle est donnée par la relation suivante :

$$q_e = \frac{(C_i - C_e)}{m} v \quad \text{III.11}$$

Donc :

$$K_d = \frac{C_i - C_e}{C_e} \frac{v}{m} \quad \text{III.12}$$

La variation de l'enthalpie libre (ΔG) d'un système subissant une transformation à température et pression constantes est définie, comme suit, en fonction des variations d'enthalpie (ΔH) et d'entropie (ΔS) :

$$\Delta G = \Delta H - T \Delta S \quad \text{III.13}$$

La variation de l'énergie peut être également exprimée en fonction du coefficient de distribution K_d :

$$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln K_d \quad \text{III.14}$$

Sachant qu'à l'équilibre $\Delta G = 0$, par conséquent :

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K_d \quad \text{III.15}$$

L'enthalpie libre standard est reliée à l'enthalpie standard d'adsorption et à l'entropie standard par la relation suivante :

$$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T \Delta S^\circ \quad \text{III.16}$$

On obtient alors la loi de van'tHoff suivante :

$$\ln K_d = \frac{\Delta S^\circ}{R} - \frac{\Delta H^\circ}{RT} \quad \text{III.17.}$$

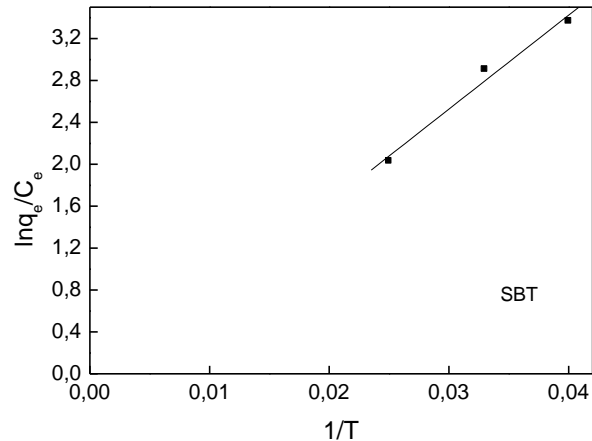
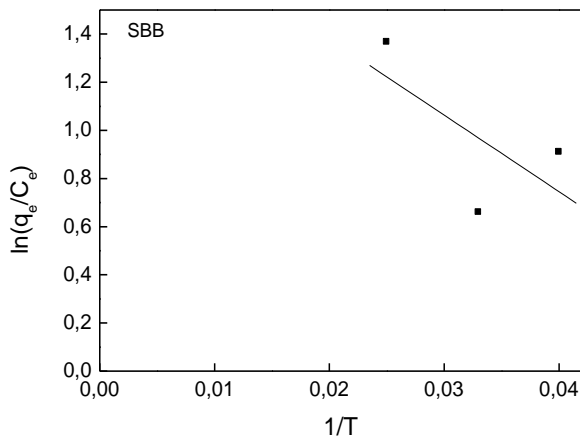


Figure III.19 : variation de $\ln K_d$ en fonction de $1/T$ (SBB et SBT).

La figure III.19 montre les paramètres thermodynamique obtenus dans le cas de notre système BM/SB ; ces derniers sont rapportés dans le tableau III.6.

Tableau III.6 : Paramètres thermodynamiques calculés dans l'intervalle des températures étudiées. Pour les SBB et SBT.

SBB			
T(K)	ΔH° (KJ/mol)	ΔS° (KJ/mol)	ΔG° (KJ/mol)
298.15	2.6446	0.1676	-16.3200
303.15			-16.5936
313.15			-17.1410
SBT			
T(K)	ΔH° (KJ/mol)	ΔS° (KJ/mol)	ΔG° (KJ/mol)
298.15	-7.4537	-0.0136	-71.9653
303.15			-73.1722
313.15			-75.5859

Les valeurs négatives de la variation de l'enthalpie standard (ΔG°) dans les deux cas étudiés (SBB et SBT), signifient que le processus d'adsorption est spontané. La valeur positive de la variation de l'enthalpie standard (ΔH°) dans le cas de la SBB, démontre le caractère endothermique de la réaction. Par contre la valeur négative de la variation de l'enthalpie standard (ΔH°) dans le cas de la SBT elle démontre le caractère exothermique de processus d'adsorption. Et comme ces valeurs sont inférieures à 50 KJ/mol dans les deux cas la SBB et la SBT, il s'agit d'une adsorption physique (physisorption). Les valeurs positives et négatives d'entropie standard (ΔS°) apparues dans la SBB et la SBT, décrivent l'augmentation du désordre à l'interface solide-solution [105].

Conclusion général

Cette étude a mis en évidence l'efficacité de la sciure de bois à l'état brut et traité chimiquement pour éliminer le colorant bleu de méthylène en milieu aqueux. L'influence des paramètres liés aux conditions opératoires tels que le temps de contact, la quantité de l'adsorbant, le pH, la concentration initiale du colorant et la température a été examinée. L'étude cinétique a montré que l'équilibre s'établit au bout de 30 minutes pour des solutions de BM à 20, 40, 60 et 80 mg.L⁻¹ et que le mécanisme d'adsorption peut être décrit par une cinétique du pseudo-second ordre. Les isothermes d'adsorption du système bleu de méthylène sur la sciure de bois ont bien vérifié le modèle de Langmuir. Les paramètres thermodynamiques obtenus indiquent que l'adsorption du colorant bleu de méthylène sur la sciure de bois est un processus spontané et exothermique. La sciure de bois brut et traitée sont avérées comme support à grande affinité d'adsorption vis-à-vis du colorant bleu de méthylène. L'abondance de ce résidu de combustion, générée par les fourneaux de chauffage au bois, peut offrir un matériau d'adsorption à faible coût qui peut éventuellement contribuer au traitement des effluents de textile.

Les meilleures performances du procédé d'adsorption utilisé ont été obtenues avec les conditions opératoires :

- De masse optimale de la SBB et SBT est égale à 0.2 et 0.1 mg respectivement.
- La rétention du colorant BM est rapide où l'équilibre est atteint au bout de 30 min.
- L'effet de la température, de concentration initiale, et de pH a eu une influence positive sur la capacité et la cinétique de rétention du bleu de méthylène.

Références bibliographiques

Référence bibliographique

- [1] SAKER, Farida., SENNAOUI, A., ELOUARDI, M., et al. Étude de l'adsorption du Bleu de Méthylène sur un biomatériau à base de Cactus (Adsorption study of Methylene Blue on biomaterial using cactus). *Journal of materials and Environmental Science*, 2015, vol. 6, no 2, p. 397-406.
- [2] BENGUELLA, Belkacem et YACOUTA-NOUR, Aicha. Elimination des colorants acides en solution aqueuse par la bentonite et le kaolin. *Comptes Rendus Chimie*, 2009, vol. 12, no 67, p. 762-771.
- [3] BACHIR, KHALFAOUI. Adsorption des polluants organiques par les charbons actifs. Thèse de doctorat. 2020. Faculté des Sciences et Technologies.
- [4] NAIDJI, Sana. Traitement d'une eau polluée par adsorption. Thèse de doctorat. 2020. Université de M'sila.
- [5] NOUR, Aicha. Utilisation des résidus végétaux secs (noyaux de Rhamnus d'une zone de Hodna. M'sila. (Algérie) dans le domaine préservation environnemental. Thèse de doctorat. 2017. Université Mohamed Boudiaf, M'sila.
- [6] MIYAH, Yacine., IDRISSE, M., et ZERROUQ, F. Etude et Modélisation de la Cinétique d'Adsorption du Bleu de Méthylène sur les Adsorbants Argileux (Pyrophillite, Calcite) [Study and Modeling of the Kinetics Methylene blue Adsorption on the Clay Adsorbents (Pyrophillite, Calcite)]. *Journal of Materials and Environmental Science*, 2015, vol. 6, p. 699-712.
- [7]- <http://pixe/Farandole.com/expose-sur-la-pollution>
- [8]- <http://sites.google.com/site/pollusiondelenvironnement/définition-de-la-pollution>
- [9] <http://w.w.w.aqua.portail.com/définition-6131-pollution.html>
- [10] ABDELDOUAD, Meriem. Impact de la morphologie du bâtiment sur la dispersion des polluants atmosphériques Cas d'étude: ville d'Annaba. 2014. Thèse de doctorat. Université Mohamed Khider Biskra.
- [11] NGÔ, Christian et RÉGENT, Alain. Déchets, effluents et pollution-3e éd.: Impact sur l'environnement et la santé. Dunod, 2012.

Référence bibliographique

- [12] ZOHRA, Djeddar. Etude comparative entre l'adsorption du fer totale par les algues vertes brutes et activées. Thèse de magistère. 2020. Université de Biskra.
- [13] BEN MABROUK, Ghada. Traitement des eaux usées par la fibre Alfa et l'argile. Thèse de doctorat.2020. UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA.
- [14] DELLAA, Yamina. Réponses écotoxicologiques aux stress abiotiques induits par une pollution atmosphérique particulaire chez *Pinus halepensis* Mill. et *Cupressus sempervirens*. Thèse de doctorat.2018..Constantine Université de
- [11] BOUSSOUARA, Karima. Etude des missions polluantes et des moyens de dépollution dans les moteurs à combustion interne. 2010.
- [16] BOUTERAA, Mahdia. Utilisation des végétaux pour l'évaluation de la pollution atmosphérique le long de l'autoroute Est-Ouest dans la région de Constantine. 2014. Université de Constantine.
- [17] SAIDA, Zaimeche. Contribution à l'étude de l'action d'agents polluants sur des végétaux bioindicateurs. 2017.
- [18] VINEIS, Paolo et XUN, Wei. The emerging epidemic of environmental cancers in developing countries. *Annals of oncology*, 2009, vol. 20, no 2, p. 205-212.
- [19] KHIR, Imane. Elimination des micropolluants organiques par l'adsorption sur les argiles. Thèse de doctorat. 2021. Université Mohamed Boudiaf M'sila.
- [20] <https://site-google.com/site/pollosiondelenvironnement/les-types-depollution>
- [21] www.santé-habitats-le/infos-polluants/polluants-chimiques
- [22] TAYEB, Mehdi et SAIDI, Zakaria. Étude de la Dépollution des eaux contaminées par le Toluene utilisant l'Adsorbant naturel *Zizyphus Lotus*. 2014.
- [23] MARCHAND, M. La contamination des eaux continentales par les micropolluants organiques. *Revue des sciences de l'eau/Journal of Water Science*, 1989, vol. 2, no 2, p. 229-264.

- [24] SINGLA, Laure. La gestion raisonnée du risque pollution de l'air, à l'aune du principe de précaution. *Energie-Environnement-Infrastructures*, 2019, no 3, p. 15-23.
- [25] D'HELF, M. et CASSADOU, S. Situation of regional plans for air quality. Acknowledgement of sanitary aspects. Situation of realised impact studies of urban air pollution; Bilan des plans regionaux pour la qualite de l'air. Prise en compte des aspects sanitaires. Bilan des études d'impact de la pollution atmospherique urbaine realisees. 2005.
- [26] NAIDJA, Lamri. Elimination du colorant orange II en solution aqueuse, par voie photochimique et par adsorption. Thèse de doctorat. 2010. Université de Tlemcen.
- [27] F.Bouazza. « Elimination des polluants organiques par des argiles naturelles et modifiées. Thèse de magister, Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen (2012).
- [28] R. Fghire, H. EL Bouhali, M. Esshaimi, A. Khouhaddou. « Caractérisation d'un colorant naturel LP GAMU : Model TEUI ». Mémoire de magister, université de cadi Ayyad Marrakech (2006).
- [29] MANSOUR, Hedi, BOUGHZALA, Oualid, BARILLIER, Daniel, et al. Les colorants textiles sources de contamination de l'eau: CRIBLAGE de la toxicité et des méthodes de traitement. *Revue des sciences de l'eau/Journal of Water Science*, 2011, vol. 24, no 3, p. 209238.
- [30] K. Madi-azegagh. « Utilisation de l'électrocoagulation pour l'élimination de colorant et d'autres contaminants en milieu aqueux ». Thèse de doctorat, université de Bejaia (2016).
- [31] CHENINI, Halima. Etude de la dégradation par voie photochimique de Polluant organique «orange G» en milieu aqueux homogène et hétérogène. 2012.
- [32] MEROUANI, Djillali Reda. Traitement de colorants azoïque et anthraquinonique par procédés d'oxydation avancée (POA). 2011. Thèse de doctorat. Université de Lille 1.
- [33] BAUER, Christophe, JACQUES, Patrice, et KALT, André. Photooxidation of an azo dye induced by visible light incident on the surface of TiO₂. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 2001, vol. 140, no 1, p. 87-92.

- [34] HAMMAMI, Samiha. Étude de dégradation des colorants de textile par les procédés d'oxydation avancée. Application à la dépollution des rejets industriels. 2008. Thèse de doctorat. Université de Marne la Vallée. France.
- [35] MOUMENINE, S. Elimination de polluants des eaux d'usines par adsorption sur charbon de chêne en combinaison avec un désinfectant. Mémoire d'ingénieur en chimie, Université de Tlemcen, 2011.
- [36] BENTAHAR, Yassine. Caractérisation physico-chimique des argiles marocaines: application à l'adsorption de l'arsenic et des colorants cationiques en solution aqueuse. 2016. Thèse de doctorat. Université Côte d'Azur. France.
- [37] NESTMANN, Earle R., DOUGLAS, George R., MATULA, Tibor I., et al. Mutagenic activity of rhodamine dyes and their impurities as detected by mutation induction in Salmonella and DNA damage in Chinese hamster ovary cells. *Cancer Research*, 1979, vol. 39, no 11, p. 4412-4417.
- [38] CHETIOUI, Souheyla. Structures et propriétés physico-chimiques de substances colorantes de synthèse. 2010.
- [39] R. Huang, Q. Liu, J. Huo, B. Yang. Adsorption of methyl orange on to protonated crosslinked chitosan. *Arabian Journal of Chemistry*, 10(2017) 24-32.
- [40] A. A. Attia, W. E. Rashwan, S. A. Khedr. Capacity of activated carbon in the removal of acid dyes subsequent to its thermal treatment. *Dyes and Pigments*, 69 (2006) 128-136.
- [41] ANDRADY, Anthony L. (ed.). *Plastics and the Environment*. John Wiley & Sons, 2003.
- [42] SHORE, J. *Colorants and Auxiliaries: Organic Chemistry and Application Properties*, Vol. 2. Auxiliaries, Society of Dyers and Colourists, Bradford, England, 2002.
- [43] JOO, Duk Jong, SHIN, Won Sik, CHOI, Jeong-Hak, et al. Decolorization of reactive dyes using inorganic coagulants and synthetic polymer. *Dyes and Pigments*, 2007, vol. 73, no 1, p. 59-64.

- [44] YH Bendahma, intitulé, Mémoire de magister, Université de Tlemcen (2011). P 15.
- [45] CREPY, M. N. Dermatoses professionnelles aux colorants. Documents pour le médecin du travail, 2004, no 100, p. 565-576.
- [46] Latifa BOUSSELMI. 2014. Thèse de doctorat.2014. Université de Monastir.Tunisie.
- [47] GREENE, Joseph C. et BAUGHMAN, George L. Effects of 46 Dyes on Population Growth of Freshwater Green Alga *Spirulina capricornutum*. Text. Chem. Color, 1996, vol. 28, no 4, p. 23-30.
- [48] H. Ollgaard, L. Frost, J. Galster, O. C. Hansen. Consumption, use, health and environmental aspects. Survey of azo-colorants in Denmark. 509, (1998) 147-343.
- [49] KURBUS, Tanja, SLOKAR, Yness March, et LE MARECHAL, Alenka Majcen. The study of the effects of the variables on H₂O₂/UV decoloration of vinylsulphone dye: part II. Dyes and Pigments, 2002, vol. 54, no 1, p. 67-78.
- [50] ELODIE, Z. Traitement des polluants organiques en milieu aqueux par procédé d'oxydation avancée. 2004. Thèse de doctorat. Université de Marne-La-Vallée, France.
- [51] BOLOTIN, P. A., BARANOVSKY, S. F., et EVSTIGNEEV, M. P. Spectrophotometric investigation of the hetero-association of Caffeine and thiazine dye in aqueous solution. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 2006, vol. 64, no 3, p. 693-697.
- [52] BOUCENNA, ABIR. Synthèse et caractérisation des nanocatalyseurs à base de polyoxométallates de type kiggen et leurs applications à la photodégradation des colorants.
- [53] BEER, R. et BAUMANN, M. A. Kielbassa in Pocket Atlas of Endodontic. 2006.
- [54] SPENCER, Loraine et HOLLAND, Susan. Northern Ontario. In: *Northern Ontario*. University of Toronto Press, 2019.

Référence bibliographique

- [55] CROS, P. Techniques d'inhalation chez l'enfant. Perfectionnement en Pédiatrie, 2020, vol. 3, no 4, p. 352-356
- [56] RAFATULLAH, Mohd, SULAIMAN, Othman, HASHIM, Rokiah, et al. Adsorption of methylene blue on low-cost adsorbents: a review. Journal of hazardous materials, 2010, vol. 177, no 1-3, p. 70-80.
- [57] UDDIN, Md Tamez, ISLAM, Md Akhtarul, MAHMUD, Shaheen, et al. Adsorptive removal of methylene blue by tea waste. Journal of Hazardous Materials, 2009, vol. 164, no 1, p. 53-60.
- [58] BELLIK, Bensalem, DERGHAL, Khelifa, SANCHO, Jacqueline, et al. A propos d'un cas de méthémoglobinémie grave suite à une intoxication volontaire par une teinture de chaussures. In : Annales de Toxicologie Analytique. EDP Sciences, 2001. p. 88-93.
- [59] SAIDI, Fatima Zahra. Elimination du bleu de méthylène par des Procédés d'oxydation avancée. Mémoire de magister, Université Abou Bakr Belkaid Tlemcen, 2013.
- [60] KAPSALIS, John G. Influences of hysteresis and temperature on moisture sorption isotherms. In: Water activity: theory and applications to food. Routledge, 2017. p. 173-213.
- [61] MECHRAFI, E. Adsorption, désorption et mobilité des herbicides au contact des adsorbants organiques et minéraux. Thèse de doctorat, Université Mohammed V-AGDAL, Rabat, Maroc, 2002.
- [62] EL AZZOUZI, Mohammed. Persistance, mobilité et photodégradation de l'imazapyr dans le sol et l'eau. 1999.
- [63] BOUZIANE, Nouzha. Elimination du 2-mercaptobenzothiazole par voie photochimique et par adsorption sur la bentonite et le charbon actif en poudre. Thèse de doctorat. 2007.
- [64] CHITOUR, Chems Eddine. Physico-chimie des surfaces: L'adsorption gaz-solide et liquide-solide. Office des publications universitaires, 2004.

- [65] KOLLER, Emilian. Aide-mémoire de génie chimique-4e éd. Dunod, 2013.
- [66] BOUAZIZ, A. Biosorption du nickel par la biomasse *Pleurotusmutilus*. Ecole Nationale polytechnique, Algérie, 2009.
- [67] WEBER JR, Walter J. et VAN VLIET, Benjamin M. Synthetic adsorbents and activated carbons for water treatment: overview and experimental comparisons. *Journal American Water Works Association*, 1981, vol. 73, no 8, p. 420-426.
- [68] LLEWELLYN, Philip, ROUQUEROL, Jean, LUCIANI, Laurent, et al. *Texture des matériaux pulvérulents ou poreux*. Ed. Techniques Ingénieur, 2003.
- [69] CHRISTENSEN, Erik R. et DELWICHE, John T. Removal of heavy metals from electroplating rinsewaters by precipitation, flocculation and ultrafiltration. *Water Research*, 1982, vol. 16, no 5, p. 729-737.
- [70] ROUQUEROL, F. *Textures des solides poreux ou divisés*. *Technique de l'ingénieur*, P, 1982, vol. 3645, p. 1-14.
- [71] ZHENG, Hong, LIU, Donghong, ZHENG, Yan, et al. Sorption isotherm and kinetic modeling of aniline on Cr-bentonite. *Journal of hazardous materials*, 2009, vol. 167, no 1-3, p. 141-147.
- [72] DUBININ, M. M. Sorbtsiya I Struktura Aktivnykh Uglei 1. Issledovanie Adsorbtsii Organicheskikh Parov. *Zhurnal Fizicheskoi Khimii*, 1947, vol. 21, p. 1351-1362.
- [73] CHITOUR, S. E. *Chimie des Surfaces; Introduction à la Catalyse*. Edition OPU Alger, 1981.
- [74] HAMD AOUI, Oualid et NAFFRECHOUX, Emmanuel. Modeling of adsorption isotherms of phenol and chlorophenols onto granular activated carbon: Part II. Models with more than two parameters. *Journal of hazardous materials*, 2007, vol. 147, no 1-2, p. 401411.

Référence bibliographique

- [75] LANGMUIR, Irving. The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum. *Journal of the American Chemical society*, 1918, vol. 40, no 9, p. 1361-1403
- [76] ALL, Kenneth R., EAGLETON, Lee C., ACRIVOS, Andreas, et al. Pore-and soliddiffusion kinetics in fixed-bed adsorption under constant-pattern conditions. *Industrial & engineering chemistry fundamentals*, 1966, vol. 5, no 2, p. 212-223.
- [77] OUADJENIA, Fatima. Cinétique et modélisation de la capture de dioxyde de carbone et adsorption des métaux lourds et colorant par la vase de Chorfa. Thèse de doctorat.2015. Université de Bouira.
- [78] GILES, Charles H., SMITH, David, et HUITSON, Alan. A general treatment and classification of the solute adsorption isotherm. I. Theoretical. *Journal of colloid and interface science*, 1974, vol. 47, no 3, p. 755-765.
- [79] REDLICH, O. J. D. L. et PETERSON, D. L. A useful adsorption isotherm. *Journal of physical chemistry*, 1959, vol. 63, no 6, p. 1024-1024.
- [80] MCKAY, Gordon. Application of surface diffusion model to the adsorption of dyes on bagasse pith. *Adsorption*, 1998, vol. 4, no 3, p. 361-372.
- [81] AMINE, Bekhti. ETUDE STRUCTURALE DE LA VASE DU BARRAGE DE CHOURFA ET SON APPLICATION COMME MATERIAU DE DEPOLLUTION. 2019. Thèse de doctorat.
- [82] MASSCHELEIN, Willy J. *Processus unitaires du traitement de l'eau potable*. Cebedoc, 1996.
- [83] INGLEZAKIS, V. J., LOIZIDOU, M. D., et GRIGOROPOULOU, H. P. Equilibrium and kinetic ion exchange studies of Pb^{2+} , Cr^{3+} , Fe^{3+} and Cu^{2+} on natural clinoptilolite. *Water research*, 2002, vol. 36, no 11, p. 2784-2792.
- [84] WEN, Donghui, HO, Yuh-Shan, et TANG, Xiaoyan. Comparative sorption kinetic studies of ammonium onto zeolite. *Journal of hazardous materials*, 2006, vol. 133, no 1-3, p. 252-256.

- [85] WEN, Donghui, HO, Yuh-Shan, et TANG, Xiaoyan. Comparative sorption kinetic studies of ammonium onto zeolite. *Journal of hazardous materials*, 2006, vol. 133, no 1-3, p. 252-256.
- [86] ZHU, Ronghai, YU, Ranbo, YAO, Jianxi, et al. Removal of Cd²⁺ from aqueous solutions by hydroxyapatite. *Catalysis Today*, 2008, vol. 139, no 1-2, p. 94-99.
- [87] CHIEN, S. H. et CLAYTON, W. R. Application of Elovich equation to the kinetics of phosphate release and sorption in soils. *Soil Science Society of America Journal*, 1980, vol. 44, no 2, p. 265-268.
- [88] NAIYA, Tarun Kumar, BHATTACHARYA, Ashim Kumar, MANDAL, Sailendranath, et al. The sorption of lead (II) ions on rice husk ash. *Journal of hazardous materials*, 2009, vol. 163, no 2-3, p. 1254-1264.
- [89] ZAROUAL, Z., CHAAIR, H., ESSADKI, A. H., et al. Optimizing the removal of trivalent chromium by electrocoagulation using experimental design. *Chemical Engineering Journal*, 2009, vol. 148, no 2-3, p. 488-495.
- [90] VISVANATHAN, C., AIM, R. Ben, et PARAMESHWARAN, K. Membrane separation bioreactors for wastewater treatment. *Critical reviews in environmental science and technology*, 2000, vol. 30, no 1, p. 1-48.
- [91] MALAMIS, Simos, KATSOU, Evina, CHAZILIAS, Dimitris, et al. Investigation of Cr (III) removal from wastewater with the use of MBR combined with low-cost additives. *Journal of Membrane Science*, 2009, vol. 333, no 1-2, p. 12-19.
- [92] OUADJENIA, Fatima.. Cinétique et modélisation de la capture de dioxyde de carbone et adsorption des métaux lourds et colorant par la vase de Chorfa. Thèse de doctorat. 2015. Université de Bouira.
- [93] ABOU-GAMRA, Z. M. MEDIEN, H. A. A. Kinetic, thermodynamique and equilibrium studies of Rhodamine B adsorption by low cost biosorbent sugar cane bagasse. *Eur Chem Bull*, 2013, vol. 2, no 7, p. 417-422.

[94] KYZAS, GEARGE Z , LAZARIDIS, Nikolaos K, et MITROPOULOS, Athanassions CH. Removal of dyes aqueous solutions with untreated cofee residues as potential low-cost adsorbents : Equilibrium, reuse and thermodynamic approach. Chemical engineering journal, 2012, vol.189, p. 148-159

[95] PEKKUZ, Huseyin, UZUN, ILHAN et GYZEL, Fuat. Kinetic and thermodynaque of the adsorption of some dyestuffs from aqueous solution by poplar sawdust. Bioresource technology, 2008, vol.99 , p. 2009-2017

[96] OUATTARA, souleymane, BOUFFOUE, Moro Oliver, ASSANDE, Aka alexendre, et al. Influence du ciment portland sur les caractéristiques mécaniques et physiques d'un composite argile-sciure de bois utilisé comme bloc de terre Comprimée (BTC). Matériaux et techniques, 2017, vol. 105, no2, p.203

[97] SHUKLA, Alka, ZHANG, Yu-Huni, DUBEY, P, et al. The role of sawdust in the removal of unwanted materiels from water. Journal of Hazardous materials, 2002, vol.95, no 1-2, p.137-152.

[98] REID, R. Stephen, CLARK, Rhett J, et QUAGRAINE, Emmanuel K. Accurate UV-visible spectral analysis of thiomolybdates. Canadian Journal of Chemistry, 2007, vol.85, no 12, p. 1083-1089.

[99] LYMAN, Donald J, BENCK, BELL, Stacy, et al. FTIR-ATR analysis of brewed cofee : effect of roasting condition. Journal of agricultural and food chemistry, 2003, vol.51, no 11, p.3268-3272.

[100] BELAID, Kumar et KACHA, Smail. Etude cinétique et thermodynamique de l'adsorption d'un colorant basique sur la sciure de bois. Revus des sciences de l'eau. Journal of water science, 2001, vol.24, no2 p. 131-144.

[101] SEMARI, Asma, TOURECH, Amina et HAZOURLI, Abdelkrum. Etude de l'adsorption du bleu de méthylène sur différents matériaux en milieu aqueux.2015.

[102] DABROWSKI,A, PODKOSCIELNY,P. HUBICKI, Z. Adsorption of phenolic compounds by activated carbon a critical review. Chemosphere , 2005 VOL. 85, no8, p. 1049-1070.

Référence bibliographique

[103] BOUKHENFIR, Amira et HAFSI, Said Etude cinétique et thermodynamique de l'adsorption de colorant vert brillant sur une argile locale.2020

[104] MERZOUG, Nesrine NAIT. Application des tiges de dattes dans l'adsorption de polluants organiques. Thèse de doctorat.2014. university of souk ahras.

Résumé :

Ce travail consistait à évaluer les propriétés adsorbantes d'un rejet naturel à base de sciure de bois à l'état brut et traité chimiquement, pour éliminer un colorant cationique le bleu de méthylène en milieu aqueux. Les expériences se sont déroulées en mode batch. L'influence de certains paramètres sur l'adsorption du colorant sur nos supports solides, à savoir le temps de contact adsorbant-adsorbé, l'effet du pH de la solution, la concentration initiale du bleu de méthylène, et l'effet de la température.

Le comportement de l'adsorption de ce colorant sur la sciure de bois à l'équilibre a été examiné par les modèles d'isothermes de Langmuir et de Freundlich. L'isotherme d'adsorption obtenue a montré une allure du type L (dite de Langmuir). La forme L d'isotherme d'adsorption signifie qu'il n'y a pas une forte compétition entre l'adsorbant et l'adsorbé pour occuper les sites d'adsorption.

Les études cinétiques d'adsorption de ce colorant indiquent bien que le processus est le modèle du pseudo second ordre. Les meilleures performances du procédé d'adsorption utilisé pour le système bleu de méthylène sur la sciure de bois ont été obtenues avec des conditions expérimentales suivantes : temps de contact est atteint au bout de 30 min, une valeur de pH est de 6.12, la masse optimale est de 0.2 et 0.1 dans le cas de la SBB et SBT respectivement et de température ambiante à 25°C. La sciure de bois utilisée s'avère efficace dans l'élimination des colorants cationiques et pourrait être un matériau alternatif intéressant.

Mots clés : Adsorption, bleu de méthylène, sciure de bois, Isotherme, Cinétique.

Abstract :

This work consisted in evaluating the adsorbent properties of natural sawdust rejection of raw and chemically treated wood, to remove a cationic dye methylene blue in aqueous medium. The experiments were carried out in batch mode. The influence of certain parameters on the adsorption of the dye on our solid supports, namely the adsorbent-adsorbate contact time, the pH effect of the solution, the initial BM concentration, and the effect of temperature.

The adsorption behavior of this dye at equilibrium was examined by the Langmuir and Freundlich isothermal models. The isotherm shows a look of the type L (called Langmuir). The

sorption isotherm form L means that there is not a strong competition between the solvent and the sorbate to occupy the sorption sites.

The kinetic adsorption studies of this dye indicate that the process is the pseudo second order model. The best performances of the adsorption process used for the system methylene blue on sawdust were obtained with the following experimental conditions : contact time is reached after 30 min, a pH value is 6.12, the optimum mass is 0.2 and 0.1 g in the case of the raw sawdust and treated sawdust respectively, and room temperature at 25 °C. The sawdust use is effective in the removal of cationic dyes and could be an interesting alternative.

Key words: Adsorption, methylene blue, sawdust, Isothermal, Kinetic.